SLOBODAN PLAZINIĆ,
dipl. meteorolog

TEHNIČKA METEOROLOGIJA

Naučna Knjiga

Beograd, 1985.

Slobodan Plazinić
TEHNIČKA METEOROLOGIJA

Izdavač
IRO „Naučna knjiga“
Beograd, Uzun-Mirkova 5

U finansiranju ove publikacije učestvovala je i Republička zajednica nauke SR Srbije

Recenzenti:
Dr *Mlađen Ćurić*, docent PMF
Dušan Vukmirović, dipl. met.

Za izdavača
Dragoslav Joković

Urednik
Dr *Vukašin Bilić*

Tehnički urednik
Gordana Krstić

Tiraž 1000 primeraka
Štampa GRO „Prosveta“ Niš

SADRŽAJ — Strana

II

III

IV

V

VI

DODATAK I

Svaka tehnička dokumentacija za velike gradjevinske objekte i konstrukcije, kao što su dalekovodi, mostovi, TV tornjevi, visoke antene, dimnjaci termoelektrana i toplana i dr. mora sadržati meteorološko-klimatološke istraživačke radove. Često se postavlja pitanje šta sve treba od meteoroloških parametara obraditi i analizirati, ali tako da se mogu direktno koristiti za projektovanje i gradnju pomenutih objekata.

U ovoj su knjizi opisani osnovni pojmovi o meteorološkim parametrima sa primerima njihovih uticaja na brojne gradjevinske objekte i konstrukcije, a u oblastima elektroprivrede, gradjevinarstva, rudarstva, hemijske industrije i dr. Ukratko su izloženi instrumentarijum i metodi merenja, obrade i analize meteoroloških elemenata i pojava koje su značajne za projektovanje, gradnju pa i eksploataciju velikih objekata. Posebno su opisane pojave i uticaji dodatnih opterećenja usled ledenih naslaga i mokrog snega, razornog dejstva vetra, atmosferskih električnih pražnjenja, zagadjenosti vazduha i dr. meteoroloških parametara.

Knjiga je u osnovi namenjena inženjerima u oblastima gradjevinarstva, elektroprivrede, rudarstva, uopšte tehničkih grana, koji se pri projektovanju, gradnji ili eksploataciji brojnih objekata i konstrukcija susreću sa uticajima meteoroloških elemenata i pojava.

UVOD

Iz porasta potreba sa što potpunijim informacijama o vremenu i klimi u oblastima industrije,saobraćaja,elektroprivrede, gradjevinarstva i drugim granama privrede izgradila se zasebna disciplina primenjene meteorologije pod nazivom tehnička ili nešto redje industrijska meteorologija, slično već ranije formiranim poljoprivrednoj meteorologiji (agrometeorologiji) i vazduhoplovnoj meteorologiji.

Ona iskorišćava sve što savremena meteorologija može da joj pruži stručno meteorološki pripremljeno, obradjeno i analizirano u najpogodnijem obliku. Podaci klasične klimatologije norme srednjih mesečnih ili srednjih godišnjih vrednosti klimatskih elemenata, uopšte govoreći, ne zadovoljavaju, jer se ne mogu direktno koristiti u projektovanju,izgradnji i eksploataciji raznih objekata.Današnji razvoj privrede, a naročito tehnike zahteva od tehničke meteorologije iscrpnija razmatranja uzajamnih odnosa tehničkih problema i vremena i klime. U tehničkim istraživačkim institutima koriste se metodi i principi u kojima se tretiraju problemi vremena i klime; tehnička meteorologija ovde može dosta doprineti svestranijem i bržem proučavanju odgovarajućih metoda. Zbog toga je često potrebna uska saradnja inženjera i meteorologa, kako za uspešna rešavanja naučnih problema tehničke meteorologije tako i za praktičan rad.

U mnogim slučajevima kada se koriste tehnička sredstva traže tehnička rešenja, u prvom redu ispituje se ekonomska strana. Bez tehničke meteorologije ne može se dobiti prava slika, potpuna predstava o odnosu tehničkih procesa i meteorološko-klimatoloških uslova. Tada ova grana meteorologije daje neposredno korisne podatke, tj. ima karakter primenjene nauke predodredjene za praktičnu primenu.

Niz tehničkih procesa ne samo da zavise od vremena i klime, već sa svoje strane mogu više - manje da utiču na lokalne vremenske uslove, a u nekim specifičnim slučajevima i na lokalnu klimu.

Poznat je uticaj zagadjenosti vazduha u prizemnim slojevima atmosfere na lokalnu klimu i na zdravlje stanovništva. Ogromne količine raznih štetnih materija neprekidno izlaze kr-

oz fabričke dimnjake trujući biljni i životinjski svet Vremenom pojedini klimatski faktori, a naročito šume i vodene površine, bivaju potpuno izmenjeni. Veliki je broj primera za to i u našoj zemlji, u područjima gde se nalaze veliki rudarsko-topioničarski baseni, termo-elektrane, hemijska industrija,itd. Zato se i kod nas tehnička meteorologija naglo razvija i u ovom periodu dolazi do punog izražaja saradnja naučno-istraživačke delatnosti i privrede.

Sa raznim granama privrede tehnička meteorologija organizuje specijalne mreže stanica, vrši terenska merenja i ispitivanja, obradu dobijenih višegodišnjih podataka i daje meteorološko-klimatološku analizu pojedinih područja,lokaliteta i trasa. U zajedničkom rešavanju problema zainteresovanim granama privrede pružaju se rezultati koji omogućuju proširenje proizvodnje, veću eksploataciju, lakše i sigurnije održavanje vrlo različitih objekata, brzu izgradnju i sl. Tako, na primer, za elektroprivredu vrlo su važna merenja zaledjivanja provodnika,razornog dejstva vetra i atmosferskih električnih pražnjenja. Organizuju se osmatranja i merenja svih ledenih naslaga a zatim se dobijeni podaci preračunavaju radi prikaza prostorne i vremenske raspodele dodatnog opterećenja na različitim visinama i za različite prečnike provodnika.

Registrovanjem grmljavinskih pražnjenja na teritoriji SR Srbije izračunava se broj pražnjenja na jedinicu površine i traže verovatnoće broja grmljavinskih dana duž trase dalekovoda.

Za potrebe projektovanja tehnička meteorologija osim maksimalne brzine vetra zabeležene u nekom odredjenom periodu, daje i verovatnoću računate maksimalne brzine vetra za svaki deo trase dalekovoda, TV tornja, i dr. različitih gradjevinskih objekata i konstrukcija.

Ne može se zamisliti gradnja linija veze PTT, velikih antena, televizijskih tornjeva, žičara, električne železnice, uopšte velikih i osetljivih objekata na meteorološke uslove bez poznavanja dodatnog opterećenja usled zaledjivanja i pritiska vetra.

Radi proračuna verovatnoće maksimalnih i drugih normi meteoroloških elemenata i pojava Hidrometeorološki zavod se ko-

risti osmatranjima sa preko 1000 meteoroloških i drugih stanica i mernih punktova ravnomerno rasporedjenih na čitavoj teritoriji Republike.

U mnogim područjima snežni nanosi, poledica, jak vetar, pljuskovi, magla i druge meteorološke pojave otežavaju automobilski i železnički saobraćaj. Potrebna preventivna zaštita, na primer, od snežnih nanosa, omogućuje da se znatno skrati vreme raščišćavanja, a isto tako i eksploatacija radova i rashodi za borbu protiv snežnih nanosa.

Gradjevinarstvu su potrebni razni podaci tehničke meteorologije o temperaturi (apsolutni minimum i maksimum; srednje vrednosti i dr.) radi odredjivanja debljine zida eksploatacionih objekata; o vetru, radi izgradnje i orijentacije objekata (proračuni maksimalnog pritiska, prikazi vazdušnog strujanja za praćenje nanosa prašine,gasova, dima, ako se radi o industrijskom reonu); koliko sunčeve toplote stiže na zidove i prozore naših domova? O padavinama, radi objašnjenja klimatskih karakteristika područja i stanju prilaznih puteva ka objektima. Napred pomenuto se može rešiti samo kompleksnim proučavanjem tehničke meteorologije.

Za potrebe gradjevinskih preduzeća koja rade u drugim zemljama, a naročito u Africi,Indiji i Evropi, tehnička meteorologija može dati potrebna obaveštenja i podatke o meteorološko-klimatološkim uslovima u području gde se gradi objekat.

Za izbor mesta za gradnju aerodroma neophodno je prikupiti brojne meteorološke karakteristike: stanje podloge i njeno smrzavanje;čestinu i intenzitet (ili trajanje) atmosferskih pojava, niske oblačnosti, vidljivosti i td. Pri projektovanju aerodromske piste potrebno je znati, osim pomenutih elemenata i čestine preovladjujućeg vetra sa različitim intervalima brzina, i mnoge druge meteorološke parametre.

U radio-vezi tehnička meteorologija može dati vrlo korisne podatke o uticaju atmosfere na rasprostiranje radio-talasa, posebno UK radio-talasa. Slabljenje signala u troposferi i stvaranje troposferskih talasovoda mogu se proučiti a zatim prognozirati.

Na osnovu karata vremenske i prostorne raspodele broja radio-impulsa atmosferskih električnih pražnjenja-atmosf-

erika,kao i izokerauničke karte mogu se dobiti podaci koji se koriste pri odredjivanju nivoa radio-šumova.

U rudarstvu, u rudarsko-topioničarskim revirima,hemijskoj industriji, odnosno područjima gde se nalaze ovi objekti, potrebno je proučiti turbulenciju vazdušnog strujanja i dane u kojima nastaje prizemna inverzija radi proračuna visine dimnjaka i prostorne raspodele odredjenih koncentracija (pod već odredjenim uslovima, karakterističnim sinoptičkim situacijama).

Tehnička meteorologija treba da zadovolji dva osnovna zahteva: a) svi podaci i analize dati u takvom obliku da se neposredno koriste pri razmatranju tehničkih procesa i b) njeni podaci i analize zasnivaju se na naučnoj meteorologiji.

Mesto tehničke meteorologije

U širem smislu meteorologija je deo geofizičkih nauka, koja proučava fizičke i neke hemijske pojave u atmosferi; ona je fizika donjeg, najgušćeg sloja atmosfere, debljine oko 30 km. Meteorologija ima više grana koje bi se mogle grupisati na sledeći način:

Teorijska meteorologija,koja proučava meteorološke procese u atmosferi i utvrdjuje njihove zakonitosti, prvenstveno dedukativnim metodima. Osnovni predmet teorijske meteorologije je d i n a m i č k a m e t e o r o l o g i j a, koja na fizičko-matematički način opisuje pojave u atmosferi i čije tekovine koriste sve ostale grane meteorologije.

Eksperimentalna meteorologija, koja ispituje meteorološke procese u atmosferi empiričkim mernim metodima. Osnovne grane su:a e r o l o g i j a ,koja se bavi metodikom merenja viših slojeva atmosfere; m i k r o m e t e o r o l o g i j a ,koja ispituje najniži prizemni sloj atmosfere i m i k r o k l i m a t o l o g i j a, koja proučava srednje stanje prizemnih slojeva vazduha;f i z i č k a m e t e o r o l o g i j a ispituje optičke, akustične i električne pojave u atmosferi, strukturu oblaka i zračenje. Medjutim, u ovoj grani meteorologije, u poslednje vreme, izdvaja se r a d a r s k a m e t e o r o l o g i j a, koja vrši merenja i ispitivanja fizike oblaka, i z a g a d j e n o s t v a z d u h a koja se bavi proučavanjem prostorne i vremenske raspodele štetnih

materija u atmosferi pod uticajem meteoroloških parametara, a takodje i uticajem zagadjujućih materija na vreme i klimu.

Sinoptička meteorologija, ispituje vremenska stanja i proučava problematiku prognoziranja vremena pomoću kompleksnih (sinoptičkih) karata; obaveštava širu javnost i zainteresovane ustanove, vazdušni i pomorski saobraćaj, elektroprivredu i vodoprivredu i razne druge.

Klimatologija, proučava srednje stanje atmosfere, polazeći od raznih klasifikacija klime; ispituje promene klimatoloških elemenata i pojava u prostoru i vremenu primenjujući metode klimatološke statistike.

Primenjena meteorologija, obuhvata brojne grane meteorologije, a delom i iz prethodnih grupa, s ciljem da postignute rezultate meteorologije primenjuje u raznim naukama i u praksi za najrazličitije potrebe. Tako p o l j o p r i v r e d n a m e t e o r o l o g i j a (agrometeorologija) proučava uticaj atmosfere na biljni svet; m e d i c i n s k a m e t e o r o l o g i j a proučava uticaj atmosfere na čoveka; v a z d u h o p l o v n a m e t e o r o l o g i j a ispituje uticaje atmosferskih pojava na let aviona, jedrilica i dr. letilica. T e h n i č k a m e t e o r o l o g i j a, nalazi svoje mesto u ovom delu meteorologije, kada rezultate meteoroloških istraživanja primenjuje u gradjevinarstvu, urbanizmu, projektovanju dalekovoda, žičara, TV-tornjeva, zaštiti životne sredine, ukratko u svim delatnostima čoveka kako je to prethodno izloženo.

Tehnička meteorologija samostalno razradjuje instrumentarijum i metodiku ispitivanja, dakle,ne koristi samo rezultate merenja drugih grana meteorologije. Sprovodi fundamentalna meteorološka ispitivanja i daje konkretna rešenja zadataka koje tehnika stavlja pred meteorologiju.

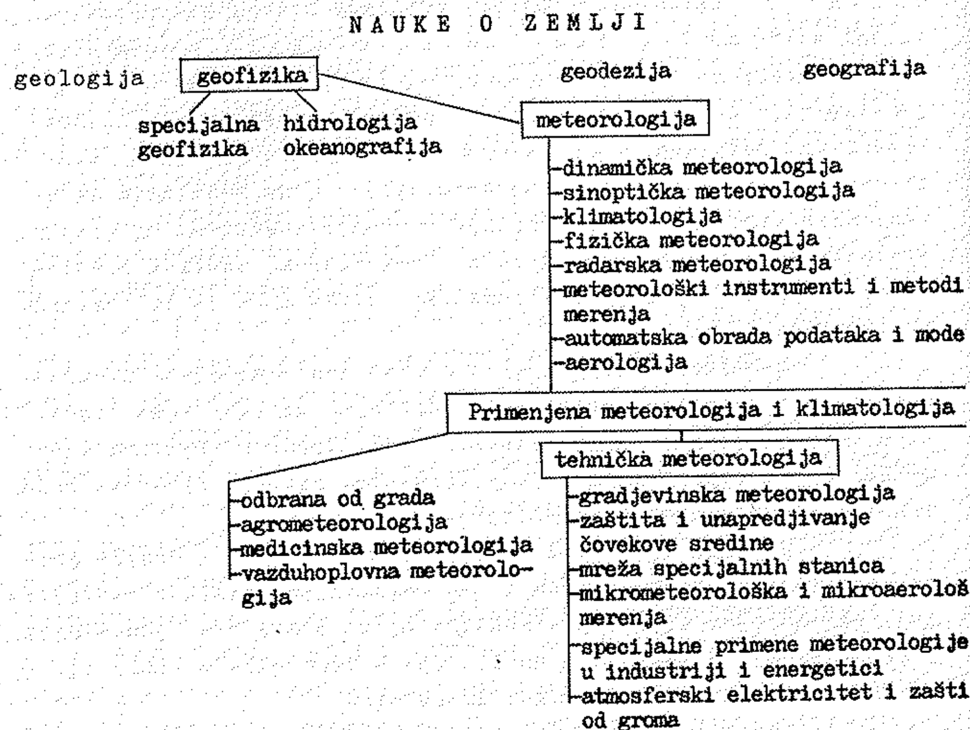
Postoji uska veza izmedju meteorologije i drugih grana geofizike sa hidrologijom i okeanografijom (fizikom hidrosfere), aeronomijom (fizikom visokih slojeva atmosfere, jonosferom i egzosferom), a takodje i geofizikom u užem smislu reči, tj. fizikom zemljine kore (fizikom litosfere).

Danas postoje svetske naučne organizacije koje razradjuju i povezuju geofizička istraživanja brojnih zemalja. Ovakav zadatak ima i Medjunarodno udruženje za geodeziju i geofi-

ziku (MUGG), u kome je i Medjunarodni savez (asocijacija) za meteorologiju i atmosfersku fiziku.

Pored ove organizacije postoje i druge svetske organizacije sa zadatkom da povezuju razne geofizičke delatnosti: Medjunarodno udruženje za radio-itraživanja (URSI), koja povezuje istraživanja jonosfere i rasprostiranja radio-talasa; Svetska meteorološka organizacija (SMO), specijalizovana organizacija Ujedinjenih nacija, jedna od najvažnijih za razvoj meteorologije u svetu sa sedištem u Ženevi, i koja povezuje državne meteorološke službe radi jednoobraznosti instrumenata, metodologije obrade i analize meteoroloških podataka, njihove svakodnevne razmene u planetarnim razmenama, davanja praktičnih uputstava i dr. značajnih akata za razvoj meteorologije i njenu praktičnu primenu.

Na sl.1. prikazano je mesto tehničke meteorologije u



Sl.1. Šematski prikaz mesta tehničke meteorologije u meteorologiji i geofizici

meteorologiji i geofizici, njena povezanost sa ostalim granama i oblastima meteorologije, geofizike i nauke o zemlji.

Jedan od pionira Tehničke meteorologije V.Ber u svojoj poznatoj knjizi "Tehnička meteorologija" (V.Böer, 1964) zaključuje u uvodu "da se tehnička meteorologija može dalje razvijati samo ukoliko se razvijaju i kompleksi meteoroloških nauka".

Meteorološke stanice

Svetska meteorološka organizacija ima danas preko 130 zemalja članica, tj. većinu svih zemalja sveta. Meteorološka osmatranja i merenja vrše se sistematski i neprekidno, danonoćno u odredjenim časovima, koji su isti za celu zemlju. Ukupan broj stanica, koje vrše prizemna osmatranja i merenja iznosi oko 100.000, a stanica koje vrše visinska merenja oko 11.000. Meteorološke podatke pribavljaju i specijalni meteorološki i transportni avioni za istraživanja, oko 3000, kao i oko 4000 brodova. Od 1950. godine redovno se lansiraju meteorološke rakete, koje dostižu visinu preko 100 km. Još 1958. godine sovjetska meteorološka raketa dostigla je visinu 437 km.

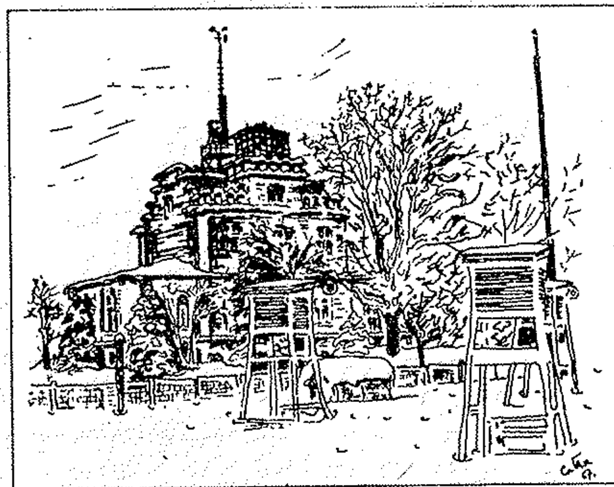
Aprila 1960. u orbitu oko zemlje ubačen je prvi meterorološki satelit (TIROS I7, 1964. NIMBUS I, 1970. NIMBUS IV, 1976. NOAA 5 itd. Danas je potpuno usavršen sistem prijema podatakasa satelita (ATP-sistem) i mnoge zemlje, a medju njima i naša svakodnevno primaju foto-snimke oblačnih sistema.

Prva redovna meteorološka merenja i osmatranja u Jugoslaviji započela su 1.januara 1848. godine u Beogradu i vrše se gotovo neprekidno, sa izuzetkom perioda trajanja Prvog i Drugog svetskog rata.

Godine 1856. osnovana je mreža meteoroloških stanica u Srbiji, a 1887. godine osnovana je Opservatorija na Zapadnom Vračaru gde se i danas nalazi kao Meteorološka opservatorija u sastavu Republičkog hidrometeorološkog zavoda SR Srbije (sl.2.).

Krajem prošlog i početkom ovog veka Meteorološka opservatorija je po svom programu i radu bila jedna od najzapaženijih u Evropi, a njena mreža meteoroloških stanica jedna od najgušćih u to vreme na svetu.

Zbog velikog značaja meteorološke službe u razvoju privrede SR Srbije i Narodnoj odbrani, posvećuje se posebna

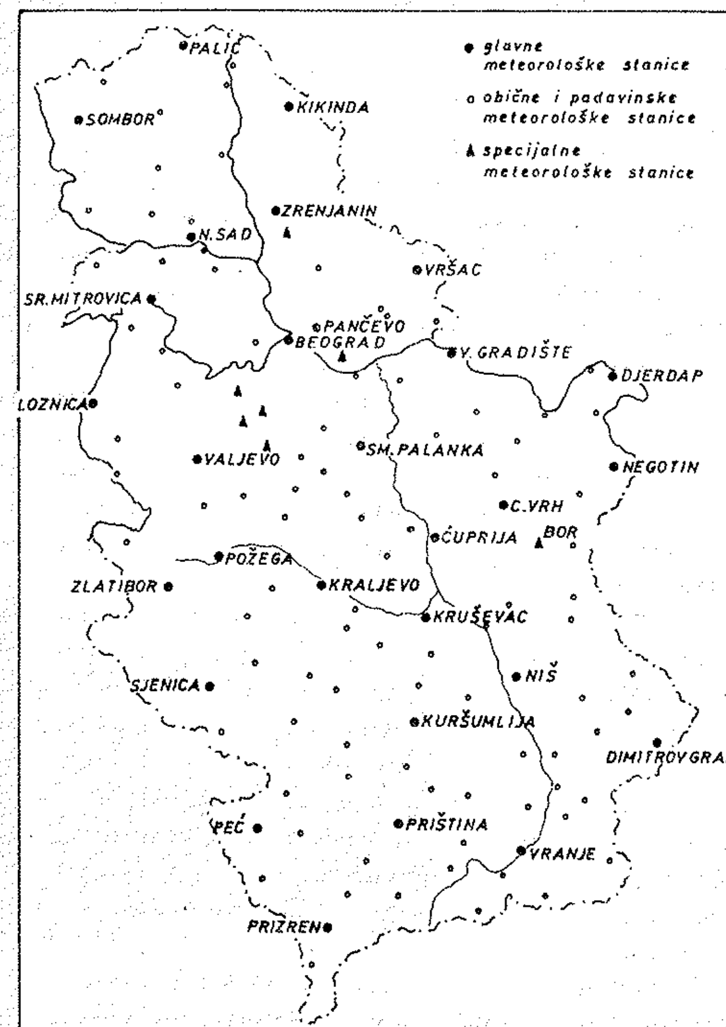


Sl. 2. Meteorološka opservatorija u Beogradu, podignuta 1887.godine

pažnja modernizaciji mreže stanica.

Na karti (sl.3.) prikazana je mreža meteoroloških stanica na teritoriji SR Srbije, koja i danas, prema brojnosti i dobroj raspodeli predstavlja jednu od boljih u svetu.

Napominjemo, da je pri završetku rada na "Tehničkoj meteorologiji" osnovan Pokrajinski hidrometeorološki zavod



Sl. 3. Mreža meteoroloških stanica u SR Srbiji

SAP Vojvodine, pa u tekstu, pri analizi meteoroloških podataka nije posebno izdvajano područje PHM Zavoda SAP Vojvodine.

ZALEDJIVANJE PROVODNIKA NADZEMNIH VODOVA I ELEMENATA GRADJEVINSKIH OBJEKATA I KONSTRUKCIJA

Zaledjivanje nadzemnih predmeta, provodnika nadzemnih vodova i elemenata različitih gradjevinskih objekata i konstrukcija, spada u red opasnih meteoroloških pojava koje otežavaju njihovu eksploataciju, a u izvesnom slučaju dovode do njihovog oštećenja ili teških havarija.

Zaledjivanje pomenutih objekata i konstrukcija nastaje na više načina, ali se može podeliti u tri osnovne grupe: u prvu grupu, spada zaledjivanje koje nastaje kao rezultat sublimacije vodene pare iz atmosfere, u drugu, zaledjivanje koje nastaje, uglavnom, na račun taloženja i mržnjenja prehladjenih kapi kiše i kapljica magle, i u treću, zaledjivanje koje nastaje usled taloženja i mržnjenja neprehladjenih kapi kiše i magle, i mokrog snega. Postoje, dakle, više vrsta zaledjivanja provodnika i elemenata gradjevinskih objekata i konstrukcija,a u zavisnosti od procesa obrazovanja. Najčešće se proučavaju samo one vrste koje su od praktičnog značaja. Tu spadaju: slana, kristalasto inje, zrnasto inje, poledica, naslage mokrog snega i naslage smrznutog mokrog snega.

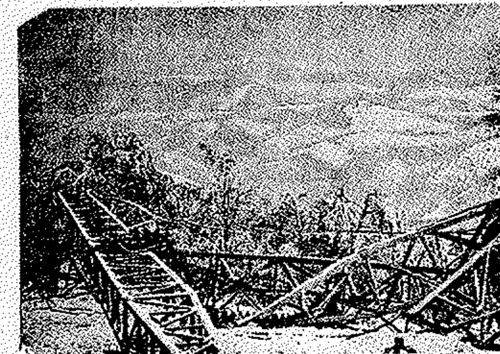
Nepovoljni uticaji zaledjivanja na provodnike nadzemnih vodova za prenos električne energije-dalekovoda, vodove električne železnice ili žičara, zatim, na linije telefonsko-telegrafske veze ili na elemente različitih gradjevinskih objekata i konstrukcija, kao što su TV-tornjevi, stubovi sa antenama, silosi, hale i dr. mogu se poučiti samo, ako se pristupi sistematskom ispitivanju postanka, učestanosti i intenziteta ovih pojava u fizičko-geografskim uslovima područja kroz koje prolaze projektovane trase ili se grade gradjevinski objekti i konstrukcije.

Poznato je da su zaledjivanje i opterećenje vetrom dva elementa koja ulaze u proračun dimenzija mehaničkog dela ovih objekata. Usled zaledjivanja stvara se dopunsko težinsko opterećenje, a takodje se povećava i njihov otpor prema vetru.

Tačnije odredjivanje opterećenja usled zaledjivanja omogućuje da se pomenuti objekti i konstrukcije projektuju ekonomičnije i pri eksploataciji budu sigurniji i bezbedniji.

Nedovoljno tačna ocena opterećenja usled zaledjivanja i vetra dovodi do teških havarija. Višegodišnja iskustva u eksploataciji dalekovoda pokazala su da ovakva stanja dalekovodne mreže dovode do dezorganizacije snabdevanja električnom energijom. Po podacima preduzeća "Elektroistok" o kvarovima na dalekovodima 110 i 220 kV, koji su se dogodili u periodu od 1958. do 1968. godine, preko 80% prekida, ispada i lomova na dalekovodima nastalo je usled zaledjivanja i kombinovanog dejstva zaledjivanja i vetra. Na sl. 1.1. prikazana je havarija dalekovoda u Istočnoj Srbiji usled zaledjivanja.

Zaledjivanjem se uvećava vertikalna komponenta dodatnog opterećenja. Medjutim, pri kombinovanom dejstvu zaledjivanja i vetra naglo rastu tzv. prečnik i debljina naslage,pa se uvećava i horizontalna komponenta dodatnog opterećenja, naročito u krajevima sa intenzivnim zaledjivanjem i jakim vetrom.



Sl.1.1 Havarija dalekovoda usled zaledjivanja u Istočnoj Srbiji

Usled zaledjivanja i vetra na dalekovodima nastaju vibracije provodnika, koje su poznate kao pojave "igranja", "galopiranja" ili "izvijanja" provodnika. U nizu slučajeva te pojave dovode do prevremenog habanja provodnika i njihovog kidanja.

Kao posledica oštećenja zbog zaledjivanja nastaju poremećaji u normalnom radu telefonsko-telegrafskih nadzemnih linija veze. Naslage zaledjivanja, naročito lake kristalaste,sem mehaničkog dejstva izazivaju smetnje i slabljenje signala,jer naglo menjaju uslove proticaja struje visoke frekvencije, a u

nekim slučajevima i potpuno gašenje telefonskih kanala visoke frekvencije, a time i prekid telefonskih razgovora.

Zaledjivanje je opasno, osim za provodnike nadzemnih vodova ili elemente gradjevinskih objekata i konstrukcija, i za vazduhoplove. U vazduhoplovstvu je poznato da se pri letu aviona kroz zone sa prehladjenim kapima u oblaku, tzv." zone zaledjivanja", talože na delovima aviona naslage poledice koje mogu biti vrlo opasne za let aviona. Zbog brzine aviona i velikih količina prehladjenih kapi zaledjivanje je vrlo intenzivno. U vazduhoplovnoj meteorologiji posebna pažnja se obraća na utvrdjivanje ovih zona zaledjivanja i obaveštavanja posade vazduhoplova o njihovoj prostornoj raspodeli, trajanju i intenzitetu.

U poljoprivredi, zaledjivanje pričinjava velike štete. Naslage poledice i mokrog snega u mnogim slučajevima uništavaju voćnjake, useve, travu i bilje (neophodno za stočarstvo), šume itd. Pod naslagama mokrog snega naročito stradaju kompleksi zimzelene šume: borovi, jele itd. Na sl. 1.2, 1.3, 1.4 i 1.5 prikazane su naslage poledice i zrnastog inja na drveću i



Sl.1.2.Zaledjeno drveće i šiblje u okolini Majdanpeka usled naslage zrnastog inja ,



Sl.1.3. Polomljeno drveće i savijeno šiblje usled naslaga poledice, zrnastog inja i vetra, u Homolju

rastinju koje su se natiložile u toku dana i noći 16./17. januara 1974. godine u Istočnoj Srbiji, kada je bila jaka magla i duvao istočni vetar brzine 5-8 m/s. Na sl.1.6 i 1.7. prikazano je polomljeno granje i stabla borove šume na Avali, usled velike naslage mokrog snega koja se nataložila 17.decembra 1969. godine.



Sl.1.4. Naslage zrnastog inja na granama drveća,na Crnom Vrhu

Prve beleške o štetama koje je zaledjivanje nanosilo usevima i šumama u našim krajevima nalazimo u starim manastirskim knjigama i zapisima.Akademik P.Vujević (195o.) je sakupio i objavio veći broj zapisa iz starih rukopisa iz XIV do XIX veka u kojima su opisane opasne vremenske pojave, pa i zaledjivanje. Navodi se zapis o zaledjivanju u Šumadiji kada je u kasno proleće 1640.godine na olistalu šumu i žito,koje je već bilo u klasu, pao mokar sneg i naneo velike štete. Još jedan zapis odnosi se na krajeve u Srbiji,kada su, pedeset godina kasnije 1690. godine "pali sneg i led na žito te se pojavi glad kakve se niko do tada ne sećaše".



Sl.1.5. Zaledjeno drveće u Istočnoj Srbiji usled naslage zrnastog inja i poledice.

V.J.Bučinski (1962.) navodi belešku hroničara iz Firence u kojoj ovaj opisuje pojavu poledice koja se nataložila u toku noći 17. januara 1490.godine:"Pri slaboj kiši,kišne kapi lepile su se za nadzemne predmete i drveće i smrzavale na

Naslaga poledice koja se obrazovala toliko je narasla da se drveće pod njenom težinom savijalo do zemlje, a grane lomile".



Sl.1.6. Polomljena stabla i grane borove šume na Avali, usled mokrog snega,snimljeno 19.januara 1969 godine



Sl.1.7. Polomljena stabila i grane borove šume na Avali,snimljeno 19.januara 1969.

Veliki broj primera o havarijama i katastrofalnim štetama zabeležen je u mnogim krajevima Srbije, a naročito u planinskim područjima Crnog Vrha,Majdanpeka i Deli Jovana. Nešto redje na Zlatiboru,Kopaoniku, Goliji,Tresibabi i dr. U ovim planinskim područjima skoro svakog zimskog perioda javljaju se intenzivne naslage poledice, zrnastog i kristalastog inja. Medjutim, naslage mokrog snega se opažaju u vrlo različitim fizičko-geografskim područjima SR Srbije. Usled naslage mokrog snega pričinjene su velike štete u Negotinskoj Krajini, Bačkoj, na Avali, Bukulji i dr. krajevima.

Da bi se pojave zaledjivanja detaljnije proučile i razradile efikasnije mere zaštite, uvode se instrumentalna osmatranja zaledjivanja, a uporedo se beleže i meteorološki elementi i pojave pri kojima nastaju procesi zaledjivanja.Instrumentalna osmatranja se vrše pomoću jednostavnog uredjaja za praćenje nastanka, rasta i nestanka naslage na žici, (provodniku). Pri osmatranju se beleže prečnik, debljina i težina svake nataložene vrste naslage.

Instrumentalna osmatranja zaledjivanja uvedena su na meteorološkim stanicama, 1964. godine i od tada, čine sastavni deo programa meteoroloških osmatranja na glavnim meteorološkim stanicama na teritoriji SR Srbije.

Pored osmatranja zaledjivanja u mreži meteoroloških stanica, uvode se i specijalna osmatranja zaledjivanja na ogledno-istraživačkim stanicama. Ovde se prate i proučavaju meteorološki procesi koji obrazuju različite vrste zaledjivanja, beleže promene dimenzije i težine naslage sa visinom i ispituju uticaji vetra, reljefa, pošumljenosti i tzv. "zaštićenosti" objekata na procese zaledjivanja.

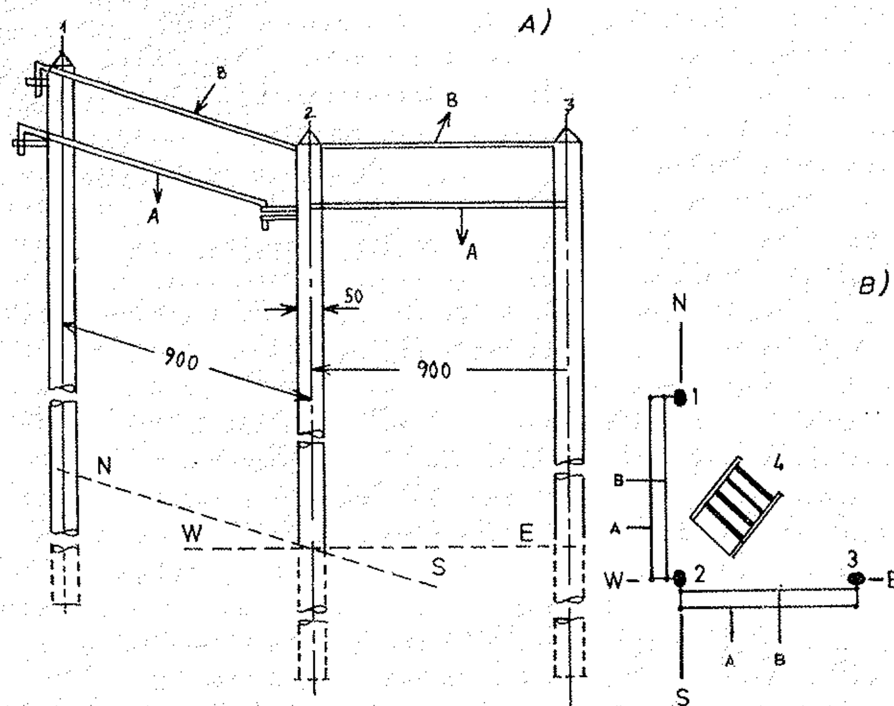
Detaljnija istraživanja zaledjivanja koja se sprovode u mreži meteoroloških stanica, na dopunskim stanicama tzv. mernim punktovima i na ogledno-istraživačkim stanicama potrebna su kako bi se dobila prostorna i teritorijalna raspodela srednjih i maksimalnih dimenzija, posebno prečnika i težine nataloženih vrsta naslaga na teritoriji SR Srbije, a za praktične potrebe projektovanja i gradnje gradjevinskih objekata i konstrukcija. U vezi sa zaledjivanjem najčešće se postavljaju pitanja: koliko je intenzivno zaledjivanje na projektovanoj trasi ili lokaciji budućeg objekta; kolike su veličine maksimalnog prečnika i težine naslage i pritiska vetra pri zaledjivanju? Odgovor treba da dâ tehnička meteorologija, a na osnovu višegodišnjih osmatranja i beleženja zaledjivanja, zatim, terenskih merenja i ispitivanja, i uopšte, proučavanja čitavog područja u kome će se graditi objekat ili konstrukcija. Tehnička meteorologija uglavnom ispituje kompleksne uticaje meteorološko-klimatoloških uslova i zaledjivanja na tehničke parametre svakog elementa gradjevinskog objekta ili konstrukcije, odnosno uzima u obzir njegove dimenzije, visinu iznad zemljine površine, zaštićenost i druge karakteristike elemenata objekata i konstrukcije.

Poslednjih godina, a naročito kada je kod nas započela gradnja dalekovoda visokih i vrlo visokih napona i kada je trebalo obezbediti prenos veće količine električne energije do rudnika, fabruke, bolnice, sve većih gradova, podaci o zaledjivanju provodnika dobijaju sve veći značaj. Isto tako, ovi su podaci neophodni kada se grade objekti i konstrukcije koje moraju biti neprekidno u eksploataciji, pri svim vremenskim

uslovima, pa i nepovoljnim, u zimskom periodu kada se javlja intenzivno zaledjivanje i kombinovano dejstvo vetra i zaledjivanja. Zbog toga se u ovom delu tehničke meteorologije šire opisuju metodologija merenja, obrade i analize zaledjivanja.

1.1 Osmatranje i merenje zaledjivanja

Instrumentalno osmatranje i merenje zaledjivanja vrši se pomoću specijalnog uredjaja sa čeličnim žicama. Na sl.1.8. prikazan je ovaj uredjaj (a), kao i izgled postavljenog uredjaja, gledano odzogo (b).



Sl. 1.8. a) Uredjaj za merenje zaledjivanja (dimenzije u mm) 1.severni stub, 2.temeni stub, 3.istočni stub A-pokretne žice i B-stalne žice
b) Izgled postavljenog uredjaja gledano odozgo 1,2 i 3ukopane cevi, A-donji par žica,b-gornji par žica, 4-stepenice

Uredjaj služi za dobijanje sledećih podataka o zaledjivanju:

-vrste i podvrste zaledjivanja,
-veličine nataložene naslage,
-težine naslage,

Kod nas je usvojen uredjaj standardnog tipa koji se sastoji iz tri metalne cevi, koje su vertikalno učvršćene u zemlju, i dva para izmedju njih horizontalno zategnutih žica (provodnika) u visini meteorološkog zaklona, 2 m iznad zemljine površine. Pravac protezanja jednog para sa pravcem protezanja drugog para zaklapa prav ugao: po pravilu jedan par je usmeren ka severu, a drugi ka istoku.

Pribor koji ide uz uredjaj, služi za merenje debljine i prečnika nataložene naslage, za sečenje, skidanje i topljenje ledenih naslaga.

1.1.1 Proces zaledjivanja

Postoje razni vidovi zaledjivanja žica, tj. obrazovanje ledenih naslaga na njima, kao rezultat pojave slane, kristalastog inja, zrnastog inja i poledice, i kao naslage mokrog snega i naslage smrznutog mokrog snega.

U zavisnosti od procesa obrazovanja i oblika naslage, od njihove genetičko-morfološke klasifikacije, izdvajamo iz "Atlasa zaledjivanja" (1965) sledeće grupe zaledjivanja:

G r u p a	vrsta	podvrsta
1) Zaledjivanja koja nastaju kao rezultat sublimacije vodene pare	slana kristalasto inje	tihog vremena, privetrine listasto meko
2) Zaledjivanja koja nastaju kao rezultat taloženja i mržnjenja prehladjene vode	zrnasto inje poledica	igličasto,lepezasto,pločasto nalik na češalj, ovalna,talasava i futrolasta
3) Zaledjivanja koja nastaju kao rezultat taloženja i mržnjenja mokrog snega	Naslage mokrog snega Smrznuta naslaga mokrog snega	n e m a n e m a

Grupa	vrsta	podvrsta
4) Složena naslaga leda	Zrnasto inje na poledici	nema
	Poledica na zrnastom inju	nema
	Neizmenično slojevi poledice i inja	nema

Vrste zaledjivanja koje spadaju u prve dve grupe su jednostrukturne, a razlikuju se jedna od druge ne samo po spoljašnim znacima nego i po uslovima obrazovanja. Svaka od njih nastaje pri odgovarajućem vremenu, ima naročite odlike i svoje granice gustine.

Osnovni znak koji omogućuje razlikovanje jedne vrste zaledjivanja od druge jeste struktura, od koje zavisi gustina naslage, njena boja, oblik i sl.

Struktura svake vrste zaledjivanja posledica je odredjenog kompleksa meteoroloških uslova. Promena tih uslova dovodi bilo do prestanka zaledjivanja bilo do prelaza jedne vrste zaledjivanja u drugu, koja već raspolaže drugim osobinama. Na granici uslova pogodnih za nastajanje dveju susednih vrsta zaledjivanja pojavljuju se prelazni oblici. Ta okolnost omogućuje da se za većinu vrsta izdvoje njihove podvrste. Ove podvrste, kao što pokazuje mikrofizička ispitivanja, čuvaju strukturu vrste, ali se podvrsta koja je karakteristična za vrstu razlikuje svojom gustinom, oblikom naslage i drugim morfološkim znacima.

Polazeći od spoljašnjih znakova i uslova obrazovanja, moguće je za svaku vrstu izdvojiti odredjen broj podvrsta: za slanu dve, za kristalasto inje dve, za zrnasto inje tri i za poledicu četiri. Obično jedna podvrsta, zahvaljujući nepromenljivosti spoljašnjih znakova i svojoj gradnju, najpotpunije predstavlja vrstu slane, listasto inje, vrstu kristalastog inja, lepezasto inje vrstu zrnastog inja, futrolasta poledica vrstu poledice.

Kod klasifikacije se uzimalo u obzir da su za vrstu i podvrstu zaledjivanja od glavnog značaja dimenzije prehladjenih kapi magle, rosulje (sipljenja) i kiše, granice temperature, brzine vetra i sudelovanja sublimacije u procesu obrazovanja naslage.

Za nastajanje poledice je neophodno da u atmosferi budu prisutne relativno krupne kapi prehladjene vode na temperaturi ispod nule, ali blizu nje. Opadanje temperature ili smanjenje dimenzije kapi izaziva obrazovanje zrnastog inja, presićenost vazduha vodenom parom (moguće je i jednovremeno prisustvo prehladjenih kapi magle) na dovoljno niskoj temperaturi dovodi do taloženja kristalastog inja. Stanje vazduha blisko zasićenosti i radijaciono hladjenje provodnika na isto tako niskoj temperaturi dovodi do taloženja slane.

Kao tipično vreme za pojedine vrste zaledjivanja javlja se: kiša pri slabom mrazu - za poledicu, magla pri umerenom mrazu - za zrnasto inje, sumaglica pri jakom mrazu za kristalasto inje, vedro vreme i odsustvo vidljivih elemenata kondenzacije - za slanu.

Osim ovih jednorodnih vrsta i podvrsta zaledjivanja ima i izdvajamo ih u zasebnu grupu složena zaledjivanja, koja nastaju kao posledica naizmeničnog taloženja nekoliko slojeva raznih vrsta leda na provodnicima . Sva takva taloženja pripadaju višestrukim (složenim) naslagama. One nastaju, pre svega, na izdignutim mestima pri promenljivom procesu vremena, ali bez trajnijeg otopljenja. Ovu grupu zaledjivanja, koja ima vrlo veliki praktični značaj, obrazuju uglavnom kombinacije dveju vrsta zaledjivanja - poledica i zrnasto inje.

1.1.2 Opis vrste i podvrste zaledjivanja

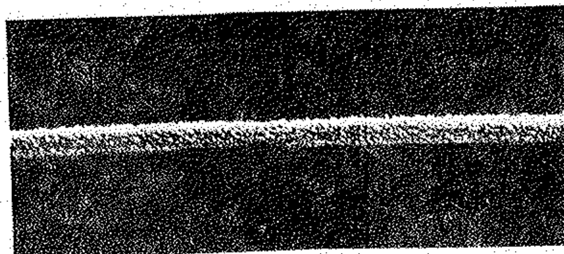
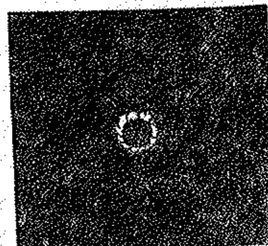
Zaledjivanja koja nastaju kao rezultat sublimacije vodene pare:

Slana (⌴)*

Taloži se na žicama uredjaja u tankom sloju u vidu kristalića odvojenih jedan od drugog koji u većini slučajeva imaju prizmatičan oblik. Pri tihom vremenu slana se najviše taloži na provodnicima odozgo, a najmanje odozdo. Pri slabom vetru slanom je pokrivena uglavnom privetrinska strana provodnika (sl.1.9).

* U zagradi je znak vrste zaledjivanja

Obično deljina slane na provodniku na 5 mm ne prelazi 1 - 2 mm. Na vrlo tankim provodnicima slana se ne obrazuje.

Sl.1.9. Slana za vreme tišine (Bučinski, 1955).

Ta okolnost omogućuje da se razlikuje slana od kristalastog inja, i ako su ponekad slični jedno drugom po spoljašnjem izgledu.

Slana se obrazuje na provodniku obično noću na niskoj temperaturi (najčešće na temperaturi ispod -10°C) za vreme tišine ili kad duva slab vetar - sublimacijom vodene pare. Pri takvim uslovima dolazi do jakog radijacionog hladjenja provodnika usled noćnog izračivanja. Slana spada u one vrste zaledjivanja za koje je karakteristično kratko trajanje. Sa porastom temperature ujutru prestaje rast slane, mada se njene naslage zadržavaju još izvesno vreme (obično do podne, a u senci i duže).

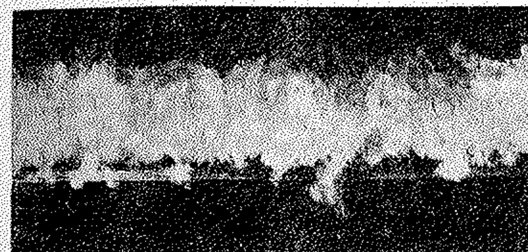
Slana na žicama iščezava putem isparavanja, ili što je redje, putem otpadanja.

Naslaga slane ne vrši mehanički uticaj na provodnik, ali zato menja uslove proticaja struje visoke frekvencije, usled čega se narušava normalan rad telefonskih veza.

U zavisnosti od uslova obrazovanja mogu se kod slane izdvojiti dve podvrste: slana tihog vremena i privetrinska slana.

<u>Kristalasto inje</u> *(V)*

Bela naslaga koja se sastoji iz ledenih kristala vrlo nežne, fine strukture. Kristali leda najčešće imaju listast oblik. Oni nastaju na žici s privetrinske strane odvojeno jedan od drugog i podsećaju na lišće paprati. Redje se kristalasto inje sastoji iz vrlo malih ledenih kristalića koji se stvaraju jedan na drugim. U ovom slučaju naslage inja podsećaju na lak mekan sneg (sl.1.1o). Kristalasto inje nastaje pretežno pri




Sl.1.1o. Naslage kristalastog mekog inja (Bučinski, 1955).

vedrom vremenu ili kad ima retkih oblaka na niskoj temperaturi za vreme tišine ili slabog vetra, kada se u vazduhu zapaža sumaglica ili, znatno redje magla. U takvim slučajevima se kristali inja obrazuju putem neposrednog prelaza pare u led (sublimacija), koja nastaje isparavanjem kapljica sumaglice ili magle.

U nekim slučajevima kristalsto inje nastaje i bez vidljivih znakova kondeznacije (sublimacije) na račun vodene pare sadržane u vazduhu. Na ovakav način se znaci obrazovanja približavaju onim slane.

Dijapazon temperature pri obrazovanju kristalastog inja je vrlo veliki, ali inje najčešće nastaje na temperaturi od -11 do -25°C.

Najveća dimenzija naslage kristalastog inja na provodniku 5 mm može dostići 70 mm. Obično se dimenzije inja u područjima sa jakim zaledjivanjem kreću u granicama od 2o-4o mm, a u područjima sa slabim zaledjivanjem do 10 mm.

Kristalasto inje se, kao i slana,obrazuje noću: ujutro se proces obrazovanja inja prekida i kad se postigne izvesno neznatno zagrevanje sunčevim zracima ono lako otpada.

Kristalasto inje, zbog svoje gradje i svojih dimenzija u znatno većoj meri nego slana utiče na normalno funkcio-

nisanje veze, izazivajući gašenje telefonskih signala visoke frekvencije. Osim toga, usled naslage kristalastog inja, dosta često nastaje vibracija provodnika, koja skraćuje vek trajanja spojeva provodnika i njih samih na mestima njihovih učvršćenja. Po spoljašnjim znacima i po uslovima obrazovanja, kristalasto se inje deli na dve podvrste: na listato i na mekano.

Zaledjivanja koja nastaju kao rezultat taloženja i mržnjenja prehladjenih kapi vode

Zrnasto inje (V)

Snegu slične naslage leda rastresite zrnaste gradje obično mutno-bele boje. Naslaga inja se taloži pretežno na privetrinskoj strani provodnika u vidu gustog perja, lepeze, iglica, pločica i drugih oblika.

Zrnasto inje se obrazuje za vreme magle, pretežno kad je vetrovito i najčešće na temperaturi od -3 do -8°C. U tim uslovima se kapljice magle nalaze u prehladjenom stanju. Čim dodju u dodir sa provodnikom ili drugim predmetima, one odmah mrznu, čuvajući uglavnom loptast oblik u vidu ledenih zrnaca. Time se i objašnjava zrnasta struktura inja koja se ponekada slabo zapaža golim okom, ali se pri uveličanju lepo vidi.

Najjače se inje taloži pri jačem vetru za vreme guste magle ne na jakom mrazu. U tim uslovima granična vrednost dimenzija naslage na vrhovima planina može dostići više od jednog metra, na brdima 150 mm, a u niskim mestima do 50 mm.

Spoljašnji izgled raznovrsnih oblika zrnastog inja i njihova gustina zavise uglavnom od temperature vazduha, veličine kapljice magle a delom i od brzine vetra. Sa pojačanjem mraza i sa smanjenjem veličine kapljice magle inje dobija šupljikav izgled i malu gustinu (100 kg/m³). Sa porastom temperature vazduha i sa povećanjem veličine kapljica magle povećava se gustina inja do 600 kg/m³ i po spoljašnjem izgledu može da liči na mutnu poledicu. Ako duže traje i ako dolazi do delimičnog otapanja, površina zrnastog inja postaje blistava.

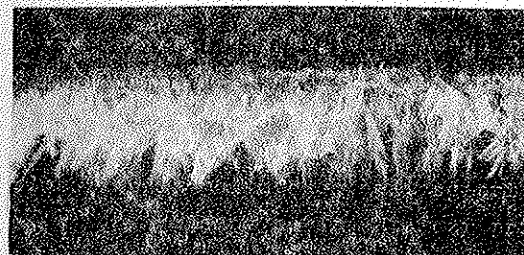
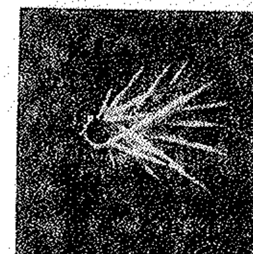
Zrnasto inje, zajedno sa vetrom, dovodi ne retko do prekidanja provodnika pa čak i do rušenja stubova linija veze i dalekovoda.

Po spoljnim znacima i po uslovima obrazovanja razlikuju se tri podvrste zrnastog inja: igličasto, lepezasto i pločasto.

Igličasto zrnasto inje, odlikuje se od ostalih podvrsta igličastom gradjom. Po pravilu iglice ne nastaju na svoj površini provodnika nego u pojedinim njenim tačkama; rastu nasuprot vetru. Zapreminske gustine naslage ne prelaze 80 kg/m³.

Mikroskopska gradja inja je zrnast led. Mali kristalići leda slažu se jedan na drugi i obrazuju odvojenu jednu od druge okosnice u vidu iglica (sl. 1.11.).

Najčešće se ovako inje obrazuje pri sumaglici i slaboj magli na temperaturi od -5 do -8°C. Male dimenzije naslage i njegovog rasta objašnjavaju se malom "vodnošću" magle. Sila prijanjanja inja za provodnik je mala. Naslaga otpada uglavnom usled porasta temperature i pojačanja vetra. Igličasto inje se najčešće javlja u nizijskim mestima.

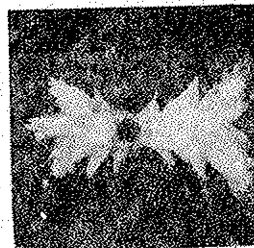



Sl. 1.11. Zrnasto igličasto inje
(Bučinski, 1955)

Pri advektivnoj magli ovo inje može postati gušće i dobiti oblik lepezastog inja.

Procesi obrazovanja i mikroskopska gradja ovog inja nisu dovoljno proučeni. Ima razloga da se pretpostavi da su igličasti kristali njegovi elementi koji su nastali putem sublimacije. Verovatno zbog ovoga V.J. Bučinski u svom novijem izdanju atlasa zaledjivanja, stavlja naslagu zrnastog igličastog inja u prvu grupu zaledjivanja dajući mu i drugo ime "kristalasto igličasto inje" (Bučinski, 1966).

Zrnasto lepezasto inje, snegu slična naslaga rastresitog leda koja se taloži na provodnicima uglavnom na privetrinskoj strani. Uredjena naslaga podseća na gusta pera lepeze koja se šire od provodnika upolje (sl.1.12.).

Sl. 1.12. Zrnasto lepezasto inje (Bučinski, 1955)

Mikroskopska struktura predstavlja mnoštvo očvrslih kapljica vode deformisanog oblika ali pretežno okruglog. Po pravilu, ova ledena zrnca ne pokazuju onakvu uredjenost slojeva kao kod igličasto zrnastog inja, a sama zrna su krupnija.

Ovo se inje obrazuje za vreme magle, najčešće na temperaturi od -3 do -7°C i pri vetru oko 7 m/s. Gustina mu varira od 100 do 300 kg/m³ i zavisi od uslova obrazovanja;što je temperatura niža i što su kapi magle manje, to je inje rastresitije, i obrnuto, sa porastom temperature i povećanjem kapi magle inje postaje gušće. Maksimalni prečnik inja u podkapi magle inje postaje gušće. Maksimalni prečnik inja u područjima sa intenzivnim zaledjivanjem dostiže 100 mm i više.

Lepezasto inje predstavlja opasno zaledjivanje. Kada se ono pojavi, nastaju vibracije, izvijanje i povećanje otpora površine provodnika. Nisu retki slučajevi da se kao rezultat ovih pojava kidaju provodnici, i lome stubovi. Na sl. 1.13. je prikazana naslaga zrnastog lepezastog inja na provodniku dalekovoda koji se srušio usled zaledjivanja i vetra. I za telefonska saopštavanja visoke frekvencije lepezasto inje važi kao značajna smetnja.

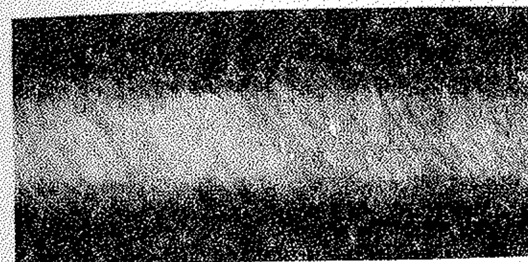
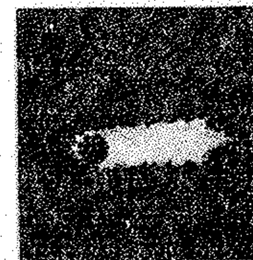


Sl.1.13. Naslaga zrnastog lepezastog inja na provodniku dalekovoda

Lepezasto inje otpada sa provodnika u većini slučajeva usled porasta temperature i pojačanja vetra. Po ustaljenosti spoljašnjih znakova i po gradji, ova podvrsta je karakteristična za vrstu zrnastog inja.

Zrnasto pločasto inje, gusta naslaga zrnastog slojevitog leda beličaste ili sive boje. Taloži se na žicama sa privetrinske strane u vidu pločica debljine koja ne prelazi debljinu žice.

Mikrostruktura ovog inja predstavlja bezoblična masa leda u kojoj preovladjuju elementi zrnaste gradje (sl.1.14). Mikrostrukturna ispitivanja pokazala su da u ovim naslagama preovladjuje zrnasta slojevita struktura zbog čega je pojava i ubrojana kao podvrsta inja.

Sl. 1.14. Zrnasto pločasto inje (Bučinski ,1955)

Često je teško razlikovati pločasto inje od mutne poledice. Kao znak uzima se obično struktura i debljina naslage. Poledica se odlikuje monolitnom gradjom leda i svojim staklastim izgledom, dok pločasto inje nema tih osobina. Osim toga, inje se troši u rukama kad se odlomi, dok je poledica homogena, čvrsto telo.

Obrazovanje pločastog inja se vrši za vreme magle (najčešće advektivne). Magla se odlikuje velikom "vodnošću", njene kapljice su nešto krupnije nego za vreme obrazovanja lepezastog inja i po dimenzijama bliske izmaglici (sipljenju).Za vreme obrazovanja naslage temperatura vazduha je oko -3°, a redje oko -5°C. Brzina vetra je u granicama od 5 do 10 m/s, a može biti i veća. Na sl. 1.15 prikazana je naslaga zrnastog pločastog inja nataložena na granama drveća.



Sl. 1.15. Naslaga zrnastog pločastog inja nataložena na granama drveća u Homoljskim planinama

Gustina pločastog inja varira od 400 do 600 kg/m³ Sila prianjanja za provodnik je velika. Pri odlamanju otpada u sitnim parčadima. Prirodno otpadanje inja sa provodnika nastaje obično usled porasta temperature.

Kada se pojavi pločasto inje nastaje izvijanje provodnika i relativno često dolazi do vibracija.

Ova podvrsta inja je prelazna pojava ka poledici.

Poledica (~)

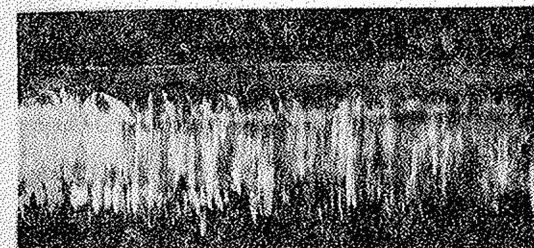
Sloj gustog (prozračnog ili mutnog) leda staklaste gradje .

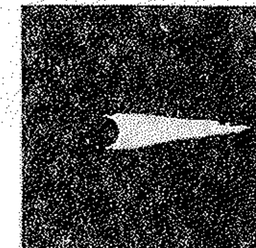
Poledica se taloži pretežno na privetrinskoj strani žice, ali se može taložiti i po celom obimu provodnika.

Poledica nastaje najčešće za vreme slabog mraza (od 0 do -3°C) usled taloženja i mržnjenja prehladjenih kapi kiše, rosulje (sipljenja) ili magle. Prehladjene kapi vode ne mrznu svaka za sebe pri dodiru sa provodnikom, kao što se to dešava pri obrazovanju zrnastog inja, nego se najpre razliju po njenoj površini i spajajući se sa novo palim obrazuju pod uticajem temperature vazduha ispod nule staklasto-prozračne korice leda. Takav proces spajanja kapi objašnjava se njihovom nedovoljnom prehladjenošću i oslobadjanju velikih zaliha toplote topljenja pri mržnjenju. Na nižim temperaturama poledica je mutna, ali i tada ima staklastu gradju. Sloj leda nastalog mržnjenjem može dostići nekoliko santimetara i izaziva pri pojačanom vetru od lo-15 m/s najteže kvarove vazdušnih linija veze, prenosa električne energije i dr. elemenata gradjevinskih objekata i konstrukcija.

Podvrste poledice razlikuju se jedna od druge, u zavisnosti od uslova njihovog obrazovanja, oblikom naslage na provodniku, a neke od njih i svojom gustinom. Najčešće se javljaju sledeće podvrste poledice: nalik na češalj, ovalnog oblika, futrolastog oblika i talasava.

Poledica nalik na češalj je staklast slojevit led hrapave površine koji se taloži na žici s privetrinske strane. Poprečni presek naslage ima klinast oblik, sa oštricom prema struji vetra (sl.1.16.).





Sl. 1.16. Poledica nalik na češalj (Bučinski, 1955)

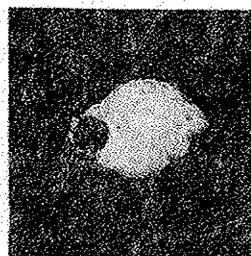
Za ovu podvrstu poledice karakteristična uzdužna slojevitost leda (duž struje vetra) objašnjava se brzim mržnjenjem relativno malih prehladenih kapi vode koje ne stignu da se potpuno razliju.

Obrazovanje ove poledice nastaje za vreme rosulje (sipljenja), guste magle sa krupnim kapima (izmaglice), ili za vreme njihove jednovremene pojave na temperaturi oko -2°C i pri vetru od 10 m/s.

Maksimalna dimenzija ove poledice dostiže ne retko 50 mm, a njena gustina varira od 700 do 900 kg/m³. Poledica otpada sa provodnika pretežno usled porasta temperature.

Ova vrsta poledice je uglavnom karakteristična za visoka mesta sa velikom čestinom advektivne magle. Naslage leda ove podvrste na jednoj strani dovode od izvijanja provodnika i njihove vibracije, i oštećenja i loma mnogih elemenata gradjevinskih objekata i drugih konstrukcija.

Ovalna poledica je homogen sloj gustog staklastog (prozračnog ili mutnog) leda. Taloži se na provodnicima pretežno s privetrinske strane. Na zavetrinskoj strani se taloži znatno manje, a ponekad je ova strana potpuno čista. Poprečni presek naslage je ovlanog oblika (sl.1.17.).

Sl.1.17. Ovalna poledica (Bučinski,1955)

Obrazovanje ove poledice se vrši za vreme sitne kiše uz izmaglicu ili maglu na temperaturi od -o.5 do -3°C, ali i na nižoj. Brzina vetra je vrlo različita (5 do 17 m/s).Maksimalni prečnik poledice na žici uredjaja može dostići 60 mm,sa specifičnom težinom 800-900 kg/m³.

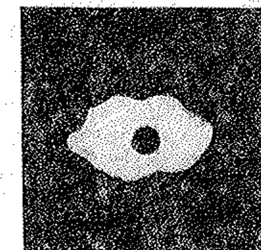
Ova podvrsta poledice je najopasnija za linije veze i prenosa električne energije kao i elemenata pojedinih gradjevinskih objekata i konstrukcija. Pri njenoj pojavi nastaju izvijanja "poigravanja", vibracije i povećanje otpora površine provodnika, što dovodi, nije retko do njihovog kidanja.

Futrolasta poledica i talasava poledica, sastoje se iz vrlo gustog talasastog leda koji, obično ima glatku površinu. Gustina leda je oko 900 kg/m³.

Znaci razlikovanja ove dve podvrste su u sledećem: futrolasta poledica taloži se na provodniku u više manje ravnomernom sloju po celom njegovom obimu (sl.1.18.).

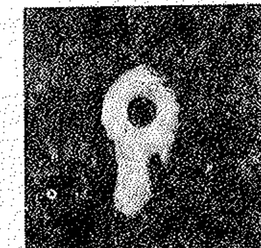
Obrazovanje ovih podvrsta poledice proističe od prehladjene kiše krupnih kapi na temperaturi ispod nule, ali blizu nje. Brzina vetra za vreme obrazovanja poledice je najčešće oko 10 m/s, ali može biti i veća. Najkrupnije kapi i najviša temperatura postoje baš pri obrazovanju talasave poledice.

Specifičan izgled ovakvih naslaga objašnjava se spuštanjem nadole kapi koje se nisu još zamrzle, te nastaju ispusti ili se javlja talasav oblik.

Sl. 1.18 Futrolasta poledica (Bučinski,1955)

Maksimalna dimenzija poledice dostiže 40 mm. Sila prianjanja za provodnik je velika.

Sl. 1.19. Talasava poledica (Bučinski,1955)

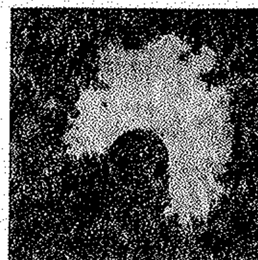
Sa pojavom poledice futolastog oblika i talasave poledice nastaju kvarovi linija veze i prenosa električne energije, elemenata televizijskih tornjeva i antena i dr. gradjevinskih objekata i konstrukcija, a naročito kad je poledica praćena jakim vetrom.Poledica otpada pretežno usled porasta temperature do iznad nule.

Zaledjivanja koja nastaju kao rezultat taložnjenja i mržnjenja mokrog snega

Naslage mokrog snega (-*-)

Naslaga mokrog snega je sloj napadalog snega koji se postepeno obrazuje na gornjem delu žice i u isto vreme klizi nadole - pri tihom vremenu. U zavisnosti od uslova obrazovanja, naslaga može biti na jednoj strani (ozgo na žici uredjaja),ili što se dešava češće može obložiti žicu po svom njenom obimu (sl. 1.2o.).





Sl. 1.2o. Naslaga mokrog snega
(Bučinski,1955.)

Elementi ovog zaledjivanja su snežne pahuljice jako deformisanog oblika izmedju kojih se nalaze kapi vode. Prisustvo vodenih kapi i opšti proces otapanja pahuljica (moguće je i jednovremeno padanje sitnih neprehladjenih kapi kiše) dovode do lepljivosti snega, koja mu omogućuje da se zadrži i na vrlo tankim provodnicima.

Naslaga mokrog snega obrazuje se na temperaturi iznad nule (0 do 1°C), a na temperaturi iznad 1°C naslaga raste lagano ili čak i otpada. Brzini prianjanja snega doprinose intenzitet padanja snega i tišina. Jak vetar oduvava naslage mokrog snega sa provodnika.

Kad temperatura opadne ispod 0°C, naslaga mokrog snega postepeno mrzne.

Naslaga mokrog snega je opasna vrsta zaledjivanja. Ona povećava opterećenje provodnika, povećava njihovu otpornu površinu, a to utiče na mehaničku otpornost nadzemnih vodova i dr. elemenata gradjevinskih objekata i konstrukcija. Osim

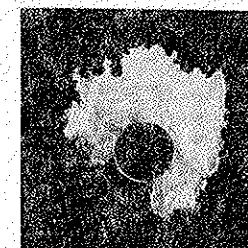
toga, prianjanje mokrog snega čini da se znaci signalizacije ne mogu razlikovati.

Zaledjivanje žičanih vodova vezano za prianjanje mokrog snega dešava se relativno retko i karakteristično je uglavnom za nizijska mesta sa vetrom malih brzina.

Sledjena naslaga mokrog snega ([-*-])

Sloj leda koji se obrazovao kao rezultat mržnjenja naslage mokrog snega. Oblik naslage na žicama uredjaja i gradja ove vrste zaledjivanja mogu biti razni i zavise od hoda temperature, karaktera padavina i delom od brzine vetra. Ako se taloženje mokrog snega vršilo samo na temperaturi oko 1°C zaledjivanje zahvata provodnik više-manje ravnomerno i postaje staklasto-prozračno kao poledica. Ako je mokri sneg padao samo na temperaturi iznad 0°C, ali blizu nje, onda naslage imaju malu gustinu i oblik sličan snegu. Kad sneg neprekidno pada i pri tome temperatura opada do ispod nule, gradja naslage postaje obično vrlo nehomogena - od prozračnog leda kod žice do kristalastog snega kao najgoreg sloja zaledjivanja (sl.1.21).





Sl.1.21. Sledjena naslaga mokrog snega
(Bučinski,1955)

U vezi sa tako različitom gradjom sledjene naslage mokrog snega, gustina ovog zaledjivanja jako varira: od 200 do 600 kg/m³.

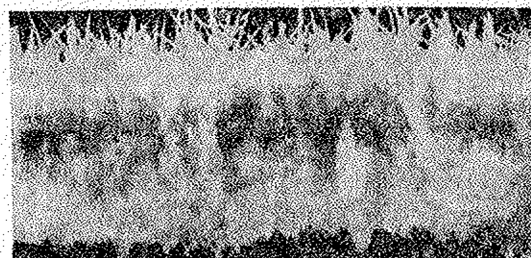
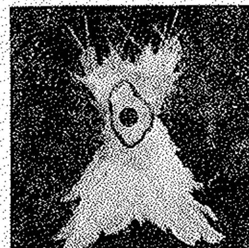
Sledjenje naslage mokrog snega karakteristične su po svojoj nepromeljivosti. One malo povećavaju svoje dimenzije i mogu dugo da se zadrže i na žici uredjaja čak i pri jakom vetru.

Zbog toga ova vrsta zaledjivanja predstavlja za gradjevinske objekte i konstrukcije, nešto manju opasnost od poledice.

Složene naslage leda

Zrnasto inje na poledici

Zrnasto inje na poledici sastoji se iz dva sloja složene naslage leda koje obrazuju dve vrste zaledjivanja-poledica i zrnasto inje. Ovakav proces taloženja vrši se obično vremenski isprekidano: najpre se na žicama taloži poledica, a zatim inje. U nekim slučajevima naročito kad neprestano vlada mgla i opada temperatura, javlja se postepen prelaz poledice u inje. Taloženje ovih vrsta zaledjivanja vrši se u većini slučajeva na bilo kojoj privetrinskoj stani provodnika; redje se dešava taloženje leda sa dve strane (sl.1.22).

Sl. 1.22. Zrnasto inje na poledici (Bučinski,1955)

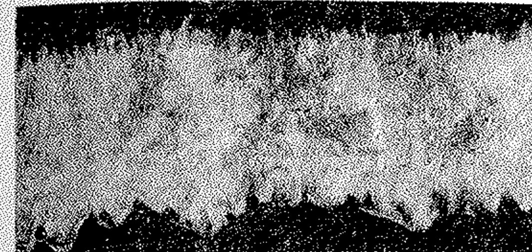
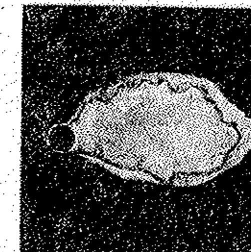
Ovakva naslaga nastaje kao rezultat promene vremenskih uslova sa opštom tendencijom opadanja temperature i smanjenje dimenzija prehladjenih vodenih kapi.

Maksimalni prečnik naslage može dostići u reonima poledice 15o mm. Gustina varira u velikim granicama i zavisi od toga da li u naslagama preovladjuje poledica ili inje. Naslaga otpada pretežno zbog porasta temperature.

Taloženje zrnastog inja na poledicu predstavlja za gradjevinske objekte i konstrukcije vrlo opasno zaledjivanje.

Poledica na zrnastom inju (V~)

Poledica na zrnastom inju sastoji se iz dva sloja složene naslage leda koje obrazuju zrnasto inje i poledica.

Sl. 1.23. Poledica na zrnastom inju (Bučinski, 1955)

Ovakva naslaga se javlja relativno retko. Uslovi ove vrste zaledjivanja su analogni uslovima obrazovanja prethodno navedenog, ali su obrnutog reda: prvo se na provodnicima ili elementima taloži zrnasto inje, a zatim poledica. Maksimalna dimenzija naslage može dostići 70 mm. Otpadanje nastaje isključivo usled porasta temperature.



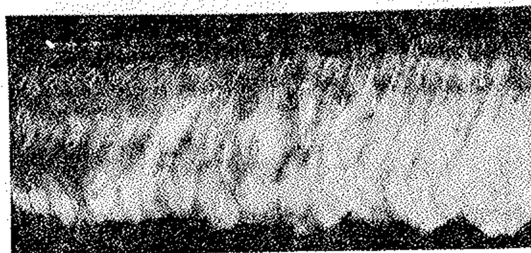
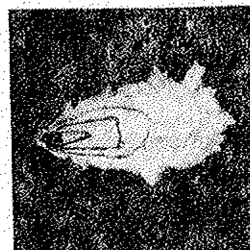

Sl. 1.24. Drveće pokriveno složenim naslagama (Istočna Srbija)

Maksimalne dimenzije naslage mogu u reonima poledice dostići 15o-2oo mm. Obrazovanje i održavanje naslage na žicama uredjaja traje ponekad nekoliko nedelja.

Neizmenični slojevi poledice i inja

Neizmenični slojevi poledice i inja su složena naslaga koja se sastoji iz tri sloja ili više raznih vrsta zale-

djivanja (sl.1.25). Ovakvo zaledjivanje obično počinje s poledicom i predstavlja za gradjevinske objekte i konstrukcije, naročito za vazdušne linije veze i prenosa električne energije najopasnije zaledjivanje.

Sl. 1.25. Naizmenični slojevi poledice i inja (Bučinski, 1955)

Delimično otpadanje naslage nastaje pod uticajem isparavanja i abrazije. Potpuno otpadanje naslage vrši se usled porasta temperature do otpadanja.

1.1.3 Mehanizam taloženja naslage na žicama uredjaja

Na kapi magle, sipeće kiše (rosulje) ili kiše, nošene vazdušnom strujom ka žicama uredjaja deluju sila zemljine teže i trenja. Jednačina njihovog kretanja odredjena je trećim Njutnovim zakonom:

$$mg + c(\vec{w} - \vec{v}) = m\frac{d\vec{v}}{dt} \qquad (1.1)$$

gde je m -masa kapi; g -ubrzanje sile zemljine teže; $\vec{w}$ -brzina vazdušne struje; $\vec{v}$ -brzina kapi i c -koeficijent koji zavisi od Rejnoldsovog broja.

U magli, rosulji i kiši nalazimo kapi vrlo različitih dimenzija. Tako, u magli i rosulji kapi imaju najčešće vrlo male prečnike od 1 do 2 µm, a vrlo retko dostižu 7 µm. Medjutim, kišne kapi su znatno krupnije. Zbog toga, silu zemljine teže možemo zanemariti kada posmatramo jednačinu kretanja kapi magle ili rosulje. Ove kapi se kreću samo horizontalno ka žicama uredjaja, što nije slučaj i sa kišnim kapima koje imaju i vertikalnu komponentu. Jednačinu kretanja kapi magle i rosulje dajemo u sledećem obliku:

$$c(\vec{w} - \vec{v}) = m\frac{d\vec{v}}{dt} \qquad (1.2)$$

Ubrzanje ovih kapi u pravcu X, odnosno Y ose su:

$$\frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} \quad i \quad \frac{dv_y}{dt} = \frac{d^2y}{dt^2}$$

v_x i v_y su komponente brzine upravljene duž x i y ose.

Kada pri magli i sipećoj kiši nema veće turbulencije, a vrednosti Rejnolsovog broja su male, silu trenja, koja je proporcionalna brzini kretanja, možemo izraziti u obliku Stoksovog zakona:

$$\vec{f_t} = 6\pi r \mu \Delta\vec{v} \qquad (1.3)$$

gde je r - poluprečnik kapi; $\Delta\vec{v}$ je vektorska razlika brzine kapi i vazdušne struje koja nosi kap; μ je koeficijent unutrašnjeg trenja.

Komponente sile trenja su:

$$f_{tx} = 6\pi r \mu (v_x - \frac{dx}{dt}) \qquad (1.4)$$

$$f_{ty} = 6\pi r \mu (v_y - \frac{dy}{dt}) \qquad (1.5)$$

Kap je okruglog oblika i njena masa iznosi:

$$m = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_k$$

r- je poluprečnik kapi, ρ -gustina kapi.

Tada jednačinu kretanja kapi možemo predstaviti:

$$\frac{4}{3}\rho_k \pi r^3 \frac{d}{dt}\left(\frac{dx}{dt}\right) = 6\pi r \mu (v_x - \frac{dx}{dt}) \qquad (1.6)$$

odnosno:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{9\mu\rho_k}{2r^2}(v_x - \frac{dx}{dt}) \qquad (1.7)$$

i

$$\frac{d^2y}{dt^2} = \frac{9\mu\rho_k}{2r^2}(v_y - \frac{dy}{dt}) \qquad (1.8)$$

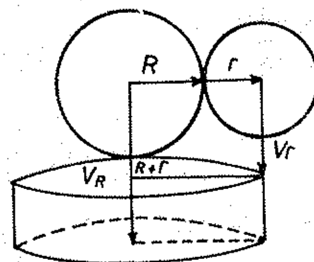
Parametar $(2r^2/9\mu\rho_k)$ odredjuje inerciju kapi.

Prema jednačini kretanja, kap dobija veće ubrzanje ukoliko se trenje smanjuje. trenje je obrnuto proporcionalno inerciji, pa putanja po kojoj se kap kreće ka žici provodnika ostaje pravolinijska sve dok se parametar inercije povećava, a smanjuje ubrzanje. Medjutim, u neposrednoj blizini žice kretanje kapi je složenije. Na njeno kretanje utiču više činilacija, u prvom redu njena veličina, a zatim dimenzije žice prema kojoj se kap kreće, stišljivost vazduha i brzina vazdušne strujnice. Zbog toga, kada se kap približava žici po trajektoriji vazdušne strujnice koja se savija oko profila žice, na kap deluju: sila inercije, koja traži da kap zadrži u pravolinijskom kretanju, i sila otpora, koja teži da kap vrati na trajektoriju vazdušne strujnice. Ova zona "poremećenog strujanja

vazduha" duž prednje napadne strane žice je nehomogena. Žica sa manjim prečnikom stvoriće manji "profil" vazdušnoj strujnici, pa će kap imati veću krivinu trajektorije. Ovo su najpogodniji uslovi taloženja kapi na žici, a time i intenzivnijem zaledjivanju.

Kod nešto većih kapi, kada su brzine opticanja i sila inercije veće, postoji i veća verovatnoća da se u jedinici vremena natalože veće naslage što je manji poluprečnik žice. Vremenski i prostorno taloženje naslage zavisi od dimenzije žice. Što je prečnik manji naslaga nastaje ranije i može biti intenzivnija. Zbog toga, na dalekovodu, zaledjivanje zaštitnog užeta nastaje ranije i može biti veće nego provodnika ili elementa ostale konstrukcije.

Taloženje ledenih naslaga na provodniku dalekovoda može se posmatrati analogno zahvatu manjih kapi jednom velikom, umesto koje posmatramo profil provodnika koji se pruža normalno na pravac kretanja manjih kapi (sl. 1.26.). Koristeći se metodom gravitacione koagulacije (Šiškin,1947.) rast naslage na provodniku posmatramo kao zahvat kapi različitih prečnika.



Sl.1.26. Zahvat kapi jednom većom kapi ili žicom uredjaja

Jednačinu kretanja kapi (1.3) možemo analizirati uvodeći bezdimenzionalne veličine: za bedizemnzionalnu brzinu V'=V/Vc; za bezdimenzionalno vreme: t'=tVc/R, gde su: V brzina kapi, Vc-komponenta brzine vazdušne strujnice i R prečnik provodnika. Tada jednačina (1.3) postaje:

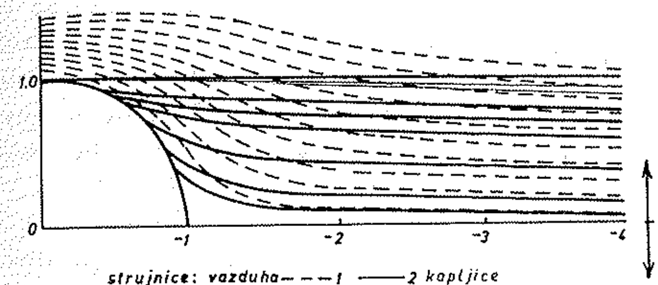
$$p\frac{dv'}{dt'} = \Delta\vec{v}' \qquad (1.9)$$

gde je $p = mVc/6\pi Rr\mu$ odnos izmedju inercije i aerodinamičkih sila.

Za razne vrednosti P odredjeni su koeficijenti zahvata naslage (Ep), pri malim brzinama vetra:

p	0.5	1.0	2.0	5.0	10.0	20.0	50.0	100
Ep	0.17	0.37	0.57	0.78	0.89	0.94	0.97	0.98

Koeficijent zahvata od koga zavisi promena zapremine može se odrediti širinom vazdušne struje iz koje se kapljice talože na žici uredjaja. Na sl. 1.27 prikazan je koeficijent zahvata kao presek (σ) vazdušne struje koja optiče žicu poluprečnika (R).



Sl. 1.27. Presek vazdušne struje koja optiče žicu uredjaja

Merenja i ispitivanja taloženja naslage zaledjivanja, pri različitim brzinama vetra su pokazala da se uticaj zakrivljenosti može zanemariti pri malim brzinama vetra od 0.3 do 0.4 m/s. Pri većim brzinama vetra uticaj zakrivljenosti je znatan i tada nastaju intenzivnija zaledjivanja.

Širina spektra u stadijumu rasta naslage iznosi: $2\sigma = \alpha R$; α je koeficijent koji zavisi od aerodinamičnog oblika vazdušne struje oko žice prečnika (R) i veličine kapi $(\alpha < 1)$. Vremenom se na žici natoloži veća naslaga, pa se zbog toga menjaju uslovi opticaja vazdušne struje. Maksimalna širina spektra (iz koje proističe dalje povećanje težine naslage) biće analogna prethodnom izrazu: $2\lambda = \alpha D$ (1.10)

ovde su: D-prečnik naslage na žici, a λ-koeficijent koji zavisi od uslova opstrujavanja oko žice sa naslagom i veličine kapi u datoj fazi procesa zaledjivanja.

U ovom slučaju, težina natoložene naslage (G) iznosi: $G = 2\int_0^t \lambda HVdt$

gde je H-količina vlage u jedinici zapremine; V-komponenta brzine kapi i t-vreme, za koje kap predje odredjen put do žice uredjaja.

Širina spektra vazdušnih strujnica koje nose kapi ka provodniku dalekovoda ili elementu konstrukcije, koji su pod

strujnim naponom, zavisiće osim, prečnika i oblika, i od električnog polja oko provodnika ili elemenata konstrukcije. Isto tako, različite su i dimenzije i težine naslage nataložene na provodniku dalekovoda ili linije veze u sredini raspona ili u blizini oslonca (stuba), uglavnom, zbog uticaja uvijanja provodnika. S druge strane, veličina D iz jed. (1.10) se stalno povećava, sve dok traje proces razvoja atmosferske pojave. Prema tome, promene ove veličine direktno utiču na promenu širine spektra vazdušnih strujnica (λ), a time i na povećanje težine naslage (G) na žici uredjaja, provodniku ili nekom drugom elementu cilindričnog oblika.

1.1.4 Osmatranje i merenje zaledjivanja na uredjaju i beleženje podataka u dnevnik osmatranja

Razlikujemo tri stadijuma jednog slučaja zaledjivanja: rast, održanje i nestajanje.

Stadijum rasta naslage jeste period neprekidnog povećanja naslage na žicama uredjaja. Brzina rasta za različite vrste naslage i pri raznim uslovima vremena nije ista.

Stadijum rasta kristalastog inja i mokrog snega može da traje i da se jednovremeno vrši i opadanje naslage,usled njenog delimičnog odvaljivanja.

Stadijum održanja naslage jeste period u toku kojeg naslaga ne menja oblik i veličinu. Ovaj stadijum počinje na kraju stadijuma rasta a završava se u trenutku kad naslaga počne da se smanjuje (na početku stadijuma nestajanja) ili na početku narednog stadijuma rasta u istom slučaju zaledjivanja.

Stadijum nestajanja naslage jeste period od početka smanjivanja naslage na žicama do njenog potpunog nestanka; u ovom stadijumu nema rasta naslage.

Nestajanje naslage na žicama uredjaja vrši se putem postepenog smanjivanja veličine naslage usled njenog isparavanja ili otpadanja, ili putem otpadanja sa žica pojedinih delova naslage usled smanjenja čvrstine ledene kore ili usled odlamanja vetrom. U nekim slučajevima naslaga otpada sa žice uredjaja pod dejstvom sopstvene težine ili težine snega koji na nju pada.

Ponekad žice na pojedinim delovima potpuno ogole,ali se naslaga održava na ostalim delovima.

Slučaj zaledjivanja obično počinje zaledjivanjem na golim žicama uredjaja usled taloženja jedne vrste naslage.Znatno redje su naslage usled jednovremenog taloženja dveju vrsta (inja i snega) pri magli i padanju snega.

Osmatranje zaledjivanja obuhvata ove četiri radnje:

- ustanovljavanje početka taloženja naslage,
- odredjivanje vrste i podvrste zaledjivanja,
- odredjivanje veličine prečnika i debljine naslage,
- merenje težine naslage.

Da bi ustanovili početak taloženja i odredili vreme rasta naslage osmatrači na meteorološkim stanicama češće osmatraju uredjaj i okolinu. Postoje predznaci pojave vrste zaledjivanja radi tačnijeg ustanovljavanja početka taloženja naslage.

Kao predznak pojave poledice jeste pojava gustih stratusa ili nimbostratusa pri maloj vrednosti temperature ispod nule. Predznak pojave inja jeste pojava guste magle i drugi predznaci magle (sumaglica) pri negativnoj temperaturi. Kao predznak mogućeg obrazovanja slane jeste vedro vreme uveče, noću i ujutro, ili pri tihom vremenu kada na nebu postoje samo tanki oblaci. Predznak početka naslage mokrog snega javlja se sneg ili kiša sa snegom pri temperaturi oko 0°C.

Tanka staklasta kora leda poledice ne može se uvek primetiti golim okom (gledanjem) i zato treba opipati površinu žice.

Naslaga inja najbrže se stvara na tankim i otkrivenim predmetima zbog toga se primećuje početak stvaranja inja najpre na letvama, tankoj žici i sličnim delovima okolnih predmeta.

Pošto je ustanovljeno taloženje naslage na žicama uredjaja i pošto je odredjeno vreme početka rasta naslage, odredjuje se vrsta i podvrsta naslage pomoću "Atlasa zaledjivanja provodnika".

Pošto se odredi vrsta odredjuje se oblik naslage: po spoljašnjem obliku (lepeza, iglice i dr.) i po obliku poprečnog preseka (ovalna, futrolasta i td).

Odredjivanje složenih naslaga vrši se na taj način što se najpre odredi red naizmeničnih slojeva poledice i inja na žici a zatim se svaki sloj pripiše jednoj od opisanih podvrsta. Netačno odredjivanje vrsta zaledjivanja povlači za sobom niz drugih grešaka usled čega takva osmatranja gube ne samo naučnu nego i praktičnu vrednost.

Pošto je pojava naslaga ustanovljena i utvrdjena njena vrsta i oblik, utvrdjuje se intenzitet - rast naslage (u mm) za dva časa.

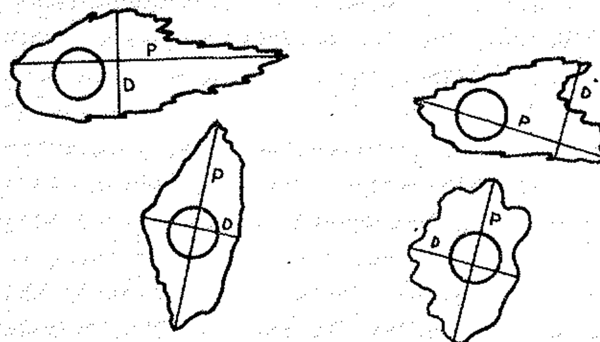
Zatim treba odrediti visinu snežnog pokrivača, ukoliko snega ima, oblačnost, pravac i brzinu vetra, temperaturu vazduha i dr. meteorološke elemente i pojave.

Da bi se odredio momenat prestanka rasta naslage, potrebno je osmotriti očišćeni deo stalnih žica. Taloženje naslage na očišćenom delu stalnih žica pokazuje da rast naslage još traje.

Vreme osmatranja i vrstu naslage osmatrači beleže u "Dnevnik osmatranja zaledjivanja".

Veličina naslage odredjuje se na stalnoj žici po prestanku rasta naslage. Odredjivanje se vrši merenjem prečnika i debljine naslage pomoću razmernika. Vrše se dva medjusobno upravna merenja: po prečniku (P) i debljini (D). Prečnik je glavni pravac naslage; on se meri po liniji najveće dimenzije naslage, uključujući i prečnik žice.

Za debljinu (D) naslage uzima se najveća dimenzija naslage upravno na prečnik (P); ona se uzima nezavisno od toga da li prečnik ulazi u nju pre merenja ili ne. Na sl.1.28



Sl. 1.28. Merenje prečnika i debljine naslage kod različitih oblika

prikazane su dimenzije prečnika i debljine naslage različitog oblika.

Merenje težine naslage vrši se na kraju stadijuma održanja odnosno na početku stadijuma nestajanja naslage, kada je dostignuta maksimalna veličina naslage.

Težina naslage odredjena je količinom vode dobijene otapanjem naslage. Naslaga se stavlja u sud za topljenje naslage, pa se zapremina otopljene naslage meri pomoću menzure. Veličina zapremine vode u kubnim stantimetrima pokazuje težinu u gramima.

Podaci o zaledjivanju provodnika dobijeni pomoću uredjaja za osmatranje i merenje zaledjivanja i podaci meteoroloških elemenata beleže se u naročite obrasce, dnevnik osmatranja zaledjivanja.

Obrazci imaju za svaki element beleženja odvojene stupce i redove. Stupci idu sledećim redom: redni broj slučajeva zaledjivanja, datum, žice uredjaja, tok zaledjivanja, meteorološki podaci (vreme osmatranja, visina snežnog pokrivača u cm, oblačnost i vrsta oblaka, atmosferske pojave, pravac i brzina vetra, i temperatura vazduha), zatim, veličina naslage (prečnik i debljina) i visina otopljene naslage u menzuri.

Svaki red u dnevniku sastoji se iz dva dela označena N-S (sever-jug) i E-W (istok-zapad). U ove poluredove beleže se podaci dobijeni osmatranjem zaledjivanja žica uredjaja koje se pokazuju u pomenutim pravcima.

U prilogu se daje primer beleženja zaledjivanja u dnevnik (Prilog I).

1.2 Analiza zaledjivanja na teritoriji SR Srbije

Višegodišnja osmatranja zaledjivanja u mreži brojnih meteoroloških stanica i mernih punktova na teritoriji SR Srbije omogućuju da se prikupe i obrade dragoceni podaci o prostornoj i vremenskoj raspodeli vrste, debljine, prečnika i težine naslage. Najčešće se kompleksno analiziraju parametri zaledjivanja i meteoroloških elemenata i pojava. Traže se odnosi izmedju zaledjivanja i vetra, oblačnosti, temperature vazduha, snežog pokrivača, sinoptičkih situacija i td. Takodje se traže

osnovne karakteristike zaledjivanja, kao što su srednji broj dana po vrstama naslage za mesec i godinu, srednji period javljanja ledenih naslaga i verovatnoća javljanja različitih veličina i težina ledenih naslaga, njihovo trajanje i td.

D N E V N I K (PRILOG I)

OSMATRANJA ZALEDJIVANJA st. CRNI VRH

God. 1978 ДЕЦЕМБАР

Broj slučajeva zaledjivanja	Datum	Žica (N-S) (E-W)	TOK ZALEDJIVANJA	Meteorološki podaci: Vreme	Visina snežnog pokrivača (cm)	Ukupna oblačnost vrsta	Atmosferska pojava	Pravac i brzina vetra (m/sec)	Temperatura vazduha	Veličina naslage: Prečnik (mm)	Debljina (mm)	Visina u mm (po menzuri)
22	22.12.78	N-S	~0155-0250 ¥0250-0630 ~0630-0845 ¥0845-2400	1157 0020	11	10/10 ≡ 10/10 ≡	≡~¥7 ≡~¥7+	ESE 12.3 ESE 9.3	-6.2 -9.7	27 56	13 37	
22	22.12.78	E-W	~0155-0250 ¥0250-0630 ~0650-0845 ¥0845-2400	1157 2400	11	10/10 ≡ 10/10 ≡	≡~¥7 ≡¥~7+	ESE 12.3 ESE 9.3	-6.2 -9.2	24 54	15 37	
22	23.12.78	N-S	~¥~ ¥0000-2400	2335	12	10/10 ≡	≡ ¥~	ESE 6.7	-4.4	9.1	46	
22	23.12.78	E-W	~¥~ ¥0000-2400	2355	12	10/10 ≡	≡¥~	ESE 6.7	-4.4	77	58	
22	24.12.78	N-S	~¥~ ¥0000-1130 ~¥~¥ 1130-2225¥-2315 ~¥~¥ 2315-2400	1066	13	10/10 ≡	≡¥~	ESE 3.4	-2.0	9.2 103	50 58	15.4
22	24.12.78	E-W	~¥~ ¥0000-1130 ~¥~¥ 1130-2225¥-2315 ~¥~¥ 2315-2400	1555	13	10/10 ≡	≡¥~	ESE 5.1	-1.7	78 86	60 60	12.4
22	25.12.78	N-S	~¥~¥ 0000-0935	0456	11	0/10	¥~	SE 1.0	-14	15 10	11 8	
22	25.12.78	E-W	~¥~¥ 0000-0935	0451	11	0/10	¥~	SE 1.0	-1.4	81 8	57 7	

Posebna pažnja pridaje se analizi ovih vrsta naslaga koje imaju praktični značaj. Tako se za praktične potrebe traže odnosi prečnika, debljine i težine naslage, pravca i brzine vetra, promene težine naslage sa visinom i prečnikom provodnika, i td.

Radi primera, prikazaće se ovi odnosi za period 1964-1974. za teritoriju SR Srbije.

1.2.1 Ukupan broj dana sa zaledjivanjem

Pod danom sa zaledjivanjem se podrazumeva dan kada se na žici uredjaja natataloži jedna od izloženih vrsta naslage,

bilo jednosložne ili višesložne.

Na sl.1.29. prikazana je karta SR Srbije sa prostornom raspodelom prosečnog godišnjeg broja dana sa zaledjivanjem.



Sl. 1.29. Prosečan broj dana sa zaledjivanjem u toku godine

Iz karte je lako videti da se u toku godine najmanji broj dana sa zaledjivanjem javlja u području Šumadije, a iznosi od 3 do 25. dana.

U Vojvodini broj dana sa zaledjivanjem vrlo je prom-

enljiv, a menja se od 25-30 dana za područje izmedju Vrbasa i Kikinde, pa do 100 dana za područja u severozapadnom delu, od Sombora prema Paliću.

U području Vršca godišnji broj dana sa zaledjivanjem je oko 90 dana. Istočni krajevi Srbije, naročito planinsko područje u Homolju i Negotinska krajina imaju u toku godine prosečno najveći broj dana sa zaledjivanjem, od 100 do 200. Maksimum broja dana beleži Crni Vrh, koji ima 236 dana u toku godine. Sekundarni maksimum se javlja u području Požege.

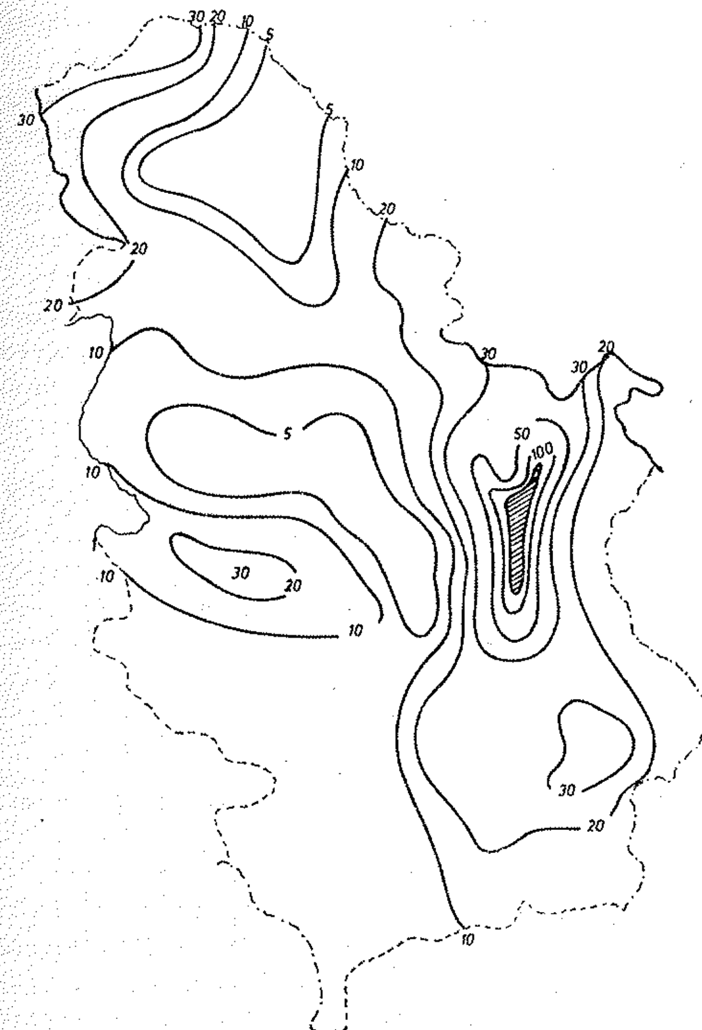
Na Kosovu, prosečno se godišnje javlja 30 do 50 dana sa zaledjivanjem. Medjutim, u planinskom području jugoistočne Srbije ovaj broj naglo raste tako da stanice Vranje i Dimitrovgrad beleže prosečno 80 dana sa zaledjivanjem u toku godine.

Treba primetiti da se pri ovakvoj analizi broja dana sa zaledjivanjem uzimaju u obzir sve vrste naslage, pa i naslage slane i kristalastog inja. Raspodela zaledjivanja prikazana na karti nije detaljna i potpuna s obzirom da je broj stanica koje osmatraju zaledjivanje u planinskim krajevima vrlo mali, a podaci mernih punktova zbog malog niza osmatranja nisu uzeti u obzir.

U toku petogodišnjeg niza osmatranja prosečno godišnje 35 stanica na teritoriji SR Srbije beleže osmatranja zaledjivanja. Uzimajući u obzir ovaj broj stanica ukupno se na teritoriji SR Srbije zabeleži oko 600 slučajeva zaledjivanja sa različitim vrstama naslage, njihovim trajanjem i intenzitetom.

Ukoliko se izdvoje naslage poledice, zrnastog inja, i složene naslage smrznutog mokrog snega i posmatraju kao ledene naslage koje stvaraju opasna dodatna opterećenja, može se prikazati karta SR Srbije sa prostornom raspodelom broja dana sa ledenim naslagama. Najveći broj dana sa ledenim naslagama beleži se na Crnom Vrhu, zatim Majdanpeku i Paliću. Interesantno je da se dosta veliki broj dana sa ovim naslagama javlja u područjima Požege i Predejana, prosečno 30 u toku godine. Maksimalan broj dana koji beleži Crni Vrh u odnosu na ostala područja, u vezi je sa fizičko-geografskim uslovima ovog planinskog masiva, zatim kretanjem vazdušnih masa i ekspozicijom stanice kao i dr. fizičko-meteorološkim uslovima.

Na sl. 1.3o. prikazana je karta SR Srbije sa prosečnom raspodelom čestina javljanja ledenih naslaga u toku godine.



Sl. 1.30. Prosečan broj dana sa ledenim naslagama u toku godine

1.2.2 Odnos zaledjivanja i temperature vazduha

Radi primera, prikazana je tablica o odnosu zaledjivanja i temperature vazduha za petogodišnji niz osmatranja. Tablica 1.1. prikazuje čestine javljanja naslage izražene u procentima za svaki interval temperature vazduha. Traženi su odnosi

temperature vazduha i naslage slane, kristalastog inja, zrnastog inja, poledice i složene naslage (zrnastog inja i poledice)

Tablica 1.1

ČESTINA (u%) SLANE U ODNOSU NA TEMPERATURU VAZDUHA
broj slučajeva 917

temperatura OD	temperatura DO	ukupna čestina u%
5	0	5
0	-5	48
-6	-10	26
-11	-15	17
-16	-20	3
-21	-25	1

ČESTINA (u%) KRISTALASTOG INJA U ODNOSU NA TEMPERATURU VAZDUHA
broj slučajeva 431

temperatura OD	temperatura DO	ukupna čestina u%
0	-5	19
-6	-10	32
-11	-15	28
-16	-20	18
-21	-25	3
-26	-30	.

ČESTINA (u%) ZRNASTOG INJA U ODNOSU NA TEMPERATURU VAZDUHA
broj slučajeva 222

temperatura OD	temperatura DO	ukupna čestina u%
1	0	1
-1	-2	31
-3	-4	16
-5	-6	19
-7	-8	14
-9	-10	7
-11	-12	4
-13	-16	5
-17	-20	3

ČESTINA (u%) POLEDICE U ODNOSU NA TEMPERATURU VAZDUHA
broj slučajeva 135

temperatura OD	temperatura DO	ukupna čestina u%
2	1	10
0	-1	50
-2	-3	20
-4	-5	6
-6	-7	7
-8	-9	5
-10	-11	.
-12	-13	1
-14	-15	1

ČESTINA (u%) ZRNASTOG INJA NA POLEDICI U ODNOSU NA TEMPERATURU VAZDUHA
broj slučajeva 55

temperatura OD	temperatura DO	ukupna čestina u%
0	-1	31
-2	-3	22
-4	-5	24
-6	-7	11
-8	-9	5
-10	-11	5
-12	-13	2

Na teritoriji SR Srbije naslage slane i kristalastog inja talože se najčešće na niskim temperaturama od -5 do -20°C. Mada u vrlo malom procentu slučajeva zabeleženo je taloženje ovih naslaga i u intervalima temperature od -20 do -25°C.

Dijapazon taloženja poledice je u intervalu temperature od 2 do -15°C. Najveća čestina javljanja ove naslage je u intervalu temperature izmedju 0 i -1°C. Što je temperatura niža od ovih čestina javljanje poledice naglo opada.

Naslaga zrnastog inja najčešće se taloži u intervalu temperature od 1 do -2°C. Od ukupnog broja slučajeva ovom intervalu pripada 31%, a ostale čestine su više-manje ravnomerno raspoređjenje. Kao i kod poledice, što su temperature niže sve je manje javljanja i obrazovanja ove naslage.

Složene naslage nastale taloženjem zrnastog inja na poledici najčešće se javljaju pri temperaturi oko nule. Od ukupnog broja slučajeva preko 30% je u intervalu od 0 do -1°C; 22% u intervalu od -2 do -3°C; i 24% u intervalu od - 4 do -5°C. Dakle, što je niža temperatura vazduha naglo opada čestina javljanja ove vrste naslage.

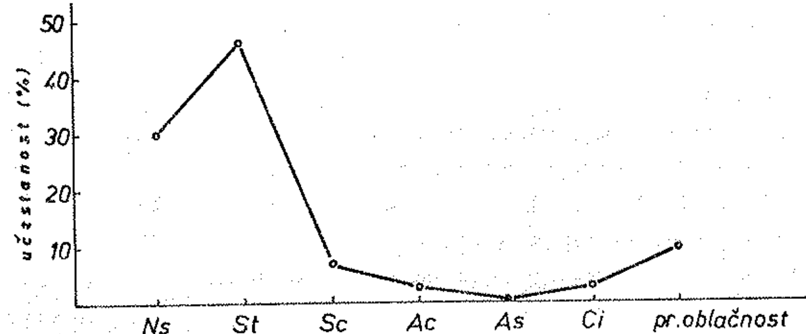
1.2.3 Odnos zaledjivanja i vrste oblaka

Zapaženo je da se pojedine vrste naslage najčešće javljaju samo pri odredjenoj vrsti oblaka, a neke samo pri vedrom nebu.

Naslage kristalastog inja najčešće se javljaju pri vedrom nebu, ali i pri prizemnoj radijacionoj magli, ili niskoj oblačnosti. Medjutim, naslage zrnastog inja i poledice najčešće se javljaju pri intenzivnoj magli ili niskoj i slojastoj (stratusnoj) oblačnosti. Od ukupnog broja javljanja ovih vrsta naslage preko 80% je pri niskoj stratusnoj oblačnosti.

Naslage mokrog snega i smrznutog mokrog snega najčešće se javljaju pri nimbostratusu (Ns). Na sl. 1.31. prikazan je grafikon koji prikazuje odnos ukupne čestine javljanja svih vrsta naslage (u %) i vrste oblaka (Ns-nimbostratus, niski,kišni ili sa snegom; St-stratus, niski slojasti; Sc-stratokumulus niski gomilasti; Ac-altokumulus, gomilasti oblaci srednje visine i As- altostratus.slojasti oblaci srednje visine i Ci-cirus,

tanki, pramenasti oblaci na velikoj visini.



VRSTA ZALEDJIVANJA \ VRSTA OBLAKA	Ns	St	Sc	Ac	As	Ci	promen. oblačnost	ukupna čestina
KRISTALASTO INJE	3	67	6	4	1	7	12	352
ZRNASTO INJE	3	69	7	4	.	4	13	241
POLEDICA	35	47	7	3	2	1	5	158
SLOŽENE NASLAGE LEDA	4	56	19	6	.	.	15	48
NASLAGE MOKROG I SLEDJENE NASLAGE MOKROG SNEGA	69	15	5	1	1	.	9	448
%	30	46	7	3	1	3	10	

Sl. 1.31. Odnos zaledjivanja i vrste oblaka

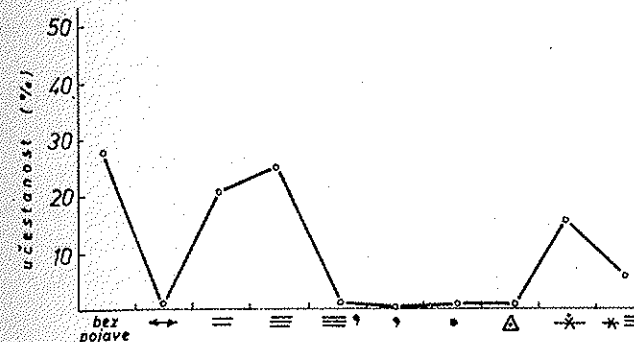
1.2.4. <u>Odnos zaledjivanja i hidrometeora</u>

Na rast, povećanje dimenzija i težine naslage veliki uticaj imaju hidrometeori - svi oblici padavina. Radi kraćeg označavanja beleže se utvrdjenim simbolima: ledene iglice (←→) sumaglica (=); magla (≡); izmaglica (≡'); rosulja (,); kiša (•); sledjena kiša (△); susnežica (-*-); i sneg pri magli (* ≡). Na sl. 1.32. prikazan je odnos zaledjivanja i hidrometeora.

Naslaga slane najčešće se taloži pri vedrom nebu, bez hidrometeora, naslaga kristalastog inja pri magli, a zatim, pri sumaglici i vedrom nebu.

Taloženje zrnastog inja, poledice i složenih naslaga

su najčešće pri magli, sumaglici i vedrom nebu, ali se javljaju i održavaju i pri ostalim hidrometeorima.



Sl. 1.32. Odnos zaledjivanja i hidrometeora

Naslage mokrog snega i smrznutog mokrog snega najčešće se javljaju pri susnežici, a zatim snegu, naslaga se duže održava i pri vremenu bez hidrometeora.

1.2.5 <u>Odnos zaledjivanja i brzine vetra</u>

Za potrebe projektovanja i održavanja gradjevinskih objekata i konstrukcija ovaj odnos je vrlo značajan.

Naime, havarije brojnih objekata i konstrukcija događjaju se pri zajedničkom dejstvu vetra i zaledjivanja. Rast dimenzija naslage, njihovog prečnika i debljine, upravo je proporcionalan brzini vetra. Veće dimenzije pružaju i veći otpor vetru. Zbog toga se dodatno opterećenje usled zajedničkog dejstva zaledjivanja i vetra može povećati iznad sile maksimalnog naprezanja elementa objekta i tada, često dolazi do oštećenja ili havarije.

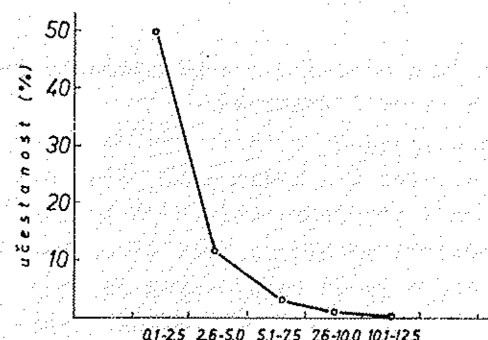
Da bi se proučili odnosi zaledjivanja i vetra na teritoriji SR Srbije traženi su odnosi pravca i brzine vetra i vrste naslage.

Na sl. 1.33. prikazan je odnos zaledjivanja pri intervalima brzina: 0.1-2.5; 2.6-5.0; 5.1-7.5; 7.6-10.0; 10.1-12.5; 12.6-15.0; 15.1-17.5 i 17.6-20.0; m/s. Takodje je data i maksimalna brzina vetra pri kojoj se javila ili održala vrsta naslage; prikazana je i čestina javljanja svih vrsta naslage pri tihom vremenu, bez vetra (C). Na istoj slici prikazan je grafički odnos ukupne čestine javljanja svih vrsta naslage i intervala brzine vetra.

Naslaga slane najčešće se javlja pri maloj brzini

vetra do 2.5 m/s i tihom vremenu, bez vetra (tišinama). Slana

VRSTA ZALEDJIVANJA / BRZINA VETRA U m/s	broj sluč.	C	0.1 do 2.5	2.6 do 5.0	5.1 do 7.5	7.6 do 10.0	10.1 do 12.5	12.6 do 15.0	15.1 do 17.5	17.6 do 20.0	max. brzina vetra
SLANA	811	40	53	6	1	.	.	.	.	.	24.0
KRISTALASTO INJE	386	43	52	5	.	.	.	.	.	.	22.0
ZRNASTO INJE	228	19	40	22	11	5	2	1	.	.	12.7
POLEDICA	115	15	40	27	9	6	2	1	.	.	14.2
SLOŽENE NASLAGE LEDA	60	15	28	23	22	12	.	.	.	.	10.0
NASLAGE MOKROG I SLEDJENE NASLAGE MOKROG SNEGA	436	19	51	21	5	2	1	.	1	.	16.0
%		32	50	12	4	2	.	.	.	.	



Sl. 1.33. Odnos zaledjivanja i brzine vetra

se javlja i pri većim brzinama vetra, ali od ukupnog broja slučajeva samo je 1% čestina javljanja pri brzinama vetra u intervalu 5.1-7.5 m/s. Maksimalna brzina pri kojoj se javila ili održala slana iznosila je čak 24 m/s.

Sličnu raspodelu čestina javljanja ima kristalasto inje, preko 95% slučajeva javljanja je pri maloj brzini vetra i tišinama. Maksimalna brzina vetra pri kojoj se javila ili održala naslaga kristalastog inja je takodje, kao i kod slane dosta velika 22 m/s.

Za održavanje i projektovanje nadzemnih provodnika i elemenata visokih objekata veoma je važan odnos ledenih naslaga zrnastog inja, poledice, složenih naslaga, mokrog i smrznutog mokrog snega, i brzine vetra.

Zrnasto inje, poledica i složene naslage najčešće se javljaju pri brzinama vetra do 10 m/s, mada su zabeleženi slučajevi javljanja i do 15 m/s. Od ukupnog broja slučajeva ovih naslaga najveći broj je pri intervalu brzine od 0.1 do 2.5 m/s.

zatim, intervalu od 2.6 do 5.0. Medjutim, složene naslage se javljaju pri brzini vetra, do 10 m/s, a zrnastog inja i poledice do 14 m/s. Maksimalna brzina pri kojoj se javila naslaga zrnastog inja iznosi 12.7; poledice 14.2, a složene naslage 10 m/s.

Naslage mokrog snega i smrznutog mokrog snega, takodje se javljaju najčešće pri malim brzinama vetra do 5m/s i tišinama (ukupno preko 90%). Maksimalna brzina vetra pri kojoj su se javile ili održale ove naslage iznosi 16 m/s.

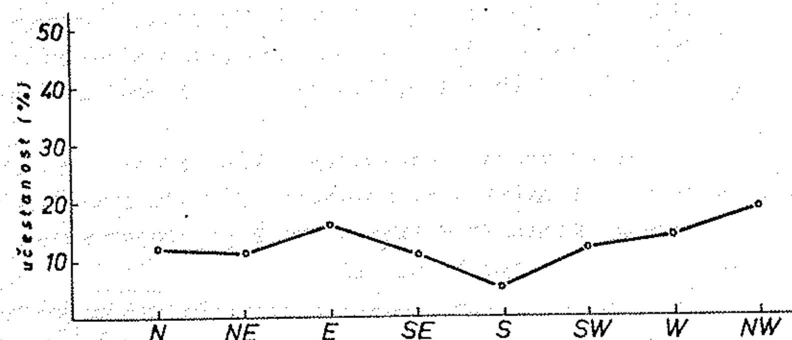
Uglavnom, kod svih vrsta naslaga čestina javljanja se smanjuje sa porastom brzine vetra, i to naglo, osim kod složene naslage kod koje čestina javljanja opada ravnomerno sve do brzine vetra 10 m/s.

1.2.6 Odnos zaledjivanja i pravca vetra

Pored brzine, pravac vetra je značajan činilac taloženja naslage na elementima gradjevinskog objekta i konstrukcije. Odnosi vrsta naslage i pravca vetra prikazani su tablično i grafički na sl. 1.34. Taloženje naslaga vrši se pri svim pravcima vetra, ali je najčešće pri preovladjujućem vetru. Medjutim, treba primetiti da svako fizičko-geografsko područje ima svoj preovladjujući pravac; odnos pravca vetra i zaledjivanja ima lokalni značaj.

1.2.7 Sinoptički uslovi zaledjivanja

Podaci o zaledjivanju i sinoptičke (vremenske) situacije koriste se za detaljniju analizu karakterističnih vremenskih stanja pri kojima se talože ili održavaju vrste naslaga. Izdvajaju se nekoliko karakterističnih vremenskih situacija pri kojima se javljaju zaledjivanja na teritoriji SR Srbije: anticiklonalno polje (a), greben visokog pritiska (Ac), ciklonalno polje (C), topli front (T_f), hladni front (H_f) i front okulzije (F_o).



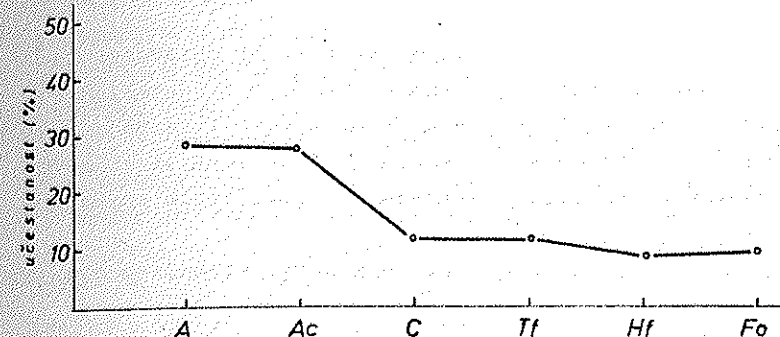
VRSTA ZALEDJIVANJA / PRAVAC VETRA	broj sluč.	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
SLANA	494	8	10	20	14	6	17	13	12
KRISTALASTO INJE	286	13	12	19	10	8	12	13	13
ZRNASTO INJE	186	3	5	26	12	3	9	19	23
POLEDICA	139	11	13	13	16	5	7	9	26
SLOŽENE NASLAGE LEDA	52	6	6	21	15	4	4	19	25
NASLAGE MOKROG I SLEDJENE NASLAGE MOKROG SNEGA	343	22	15	6	4	2	8	14	29
%		12	11	16	11	5	12	14	19

Sl. 1.34. Odnos zaledjivanja i pravca vetra

Na sl. 1.35 prikazani su grafikon i tablica odnosa zaledjivanja i sinoptičkih situacija. Prema ovoj tablici lako je videti da se naslaga slane najčešće taloži pri anticiklonalnoj situaciji, grebenu i polju visokog pritiska; od ukupnog broja slučajeva preko 75% pripada ovim situacijama. Slična je raspodela taloženja i kristalastog inja: od ukupnog broja slučajeva 66% se javlja pri anticiklonalnoj situaciji, a ostali su ravnomerno rasporedjeni na ostale karakteristične situacije.

Naslaga zrnastog inja taloži se pri svim situacijama, ali se ipak izdvaja anticiklonalno polje. Medjutim, taloženje naslage poledice najčešće je pri **frontalnim** situacijama. Tako

od ukupnog broja slučajeva javljanja poledice 60% su pri ovim situacijama, najčešće je pri frontu okluzije (24%), zatim, hladnom frontu (20%) i toplom frontu (18%). Pri anticiklonalnim



VRSTA ZALEDJIVANJA / SINOPTIČKA SITUACIJA	A anticiklon	Ac greben	C ciklon	Tf topli front	Hf hladni front	Fo front okluzije
SLANA	44	33	7	5	5	6
KRISTALASTO INJE	31	35	10	10	5	9
ZRNASTO INJE	41	30	9	7	9	4
POLEDICA	8	20	10	18	20	24
SLOŽENE NASLAGE LEDA	22	28	14	4	17	15
NASLAGE MOKROG I SLEDJENE NASLAGE MOKROG SNEGA	9	17	22	24	12	16
%	29	28	12	12	9	10

Sl. 1.35. Odnos zaledjivanja i sinoptičkih situacija

situacijama zabeleženo je oko 28% slučajeva poledice, a ciklonalnim 10%. Taloženje naslage poledice pri frontalnim situacijama je u vezi sa povećanom vlažnošću vazduha pri frontu, odnosno prisustvu magle, rosulje, kiše i dr. hidrometeora, koji kad dodirnu prehladjeni provodnik ili element objekta odmah mrznu ili su samo prehladjene pa se prvo razliju, a zatim mrznu.

Složene naslage se najčešće javljaju pri anticiklonalnim situacijama, ali se u velikom broju slučajeva talože i pri ciklonalnim i frontalnim situacijama.

Naslage mokrog snega i smrznutog mokrog snega najčešće se javljaju pri ciklonalnim i frontalnim situacijama. Pri toplom frontu su znatno češće nego pri hladnom ili frontu okluzije.

Svakako, potpuniju analizu trebalo bi sprovesti na osnovu kompleksnijih podataka o zaledjivanju i karakterističnim vremenskim stanjima. Nedostaju opisi tipova i razvoja vremena pri kojima se talože vrste naslaga. Zbog toga će se ukratko izneti opšti opisi tipova vremena kod različitih karakterističnih stanja.

Zaledjivanja koja nastaju pri anticiklonalnom stanju vremena ili grebenu visokog vazdušnog pritiska u vezi su sa tipovima vremena i atmosferskim procesima koji se dešavaju u jednoj vazdušnoj masi, a zaledjivanja koja nastaju pri frontalnim i ciklonalnim stanjima u vezi su sa procesima koji se dešavaju na graničnoj površini dveju različitih vazdušnih masa.

U jednoj vazdušnoj masi naslage se talože usled naglog hladjenja prizemnih slojeva atmosfere.koji su pod neposrednim uticajem hladne zemljine površine, ili zbog advekcije tople vazdušne mase preko hladnije zemljine površine.

Izračivanjem (radijacijom) zemljine površine neposredni sloj vazduha naglo se hladi, naslage se talože usled sublimacije ili kondenzacije vodene pare. Ovakva zaledjivanja se nazivaju radijaciona. Karakteristika ovog tipa vremena je pojava inverzije ili izotermije temperature vazduha, zbog kojih nastaje izmaglica ili magla. Na uredjaju, provodnicima ili elementima gradjevinskih objekata i konstrukcija tada se talože naslage kristalastog inja, a ponekad i zrnastog lepezastog inja. Dnevni hod taloženja ovih naslaga zavisi od dnevnog hoda izmaglice ili magle. Rast naslage obično počinje noću i dostiže najveće dimenzije u jutarnjim časovima. Posle izlaska Sunca dimenzije naslage se smanjuju ili naslaga potpuno otpadne.

Kada je anticiklonalno polje, greben ili sedlo visokog pritiska, može se takodje nataložiti naslaga zrnastog inja ili poledice. Ove naslage mogu imati i veće dimenzije, ako je u toku dana bilo nestabilno vreme. pa se u toku večeri obrazovala intenzivna magla. Dimenzije će zavisiti od veličine i stepena prehladjenosti kapljica magle.

Kod advekcije tople vazdušne mase preko rashladjene zemljine površine nastaje kondenzacija vodene pare u najnižem prizemnom sloju, a usled ovoga i obrazovanje magle ili neke slojaste oblačnosti. Pri magli se taloži naslaga zrnastog inja, a pri padavinama iz slojastih kišnih oblaka - nimbostratusa, naslaga poledice.

Stratusna oblačnost ili prizemna magla nastaju ispod baze pridignute inverzije, koja je obično na visini 500 do 1000m. Promenom ove visine mogu se izmeniti vremenski tipovi, tako da advektivna magla pri zemljinoj površini prelazi u niski oblačni sloj (stratus) ili se ovaj sloj spusti do zemljine površine prelazeći u maglu. Osnovnu ulogu u ovome ima vetar. Veće brzine vetra, preko 7 m/s, dovode do prelaska magle u niski stratusni sloj. Manje brzine vetra i dalje hladjenje prizemnog sloja vazduha stvaraju pogodne uslove za obrazovanje prizemne inverzije ili izotermije, a oblačni sloj se tada spušta prema zemlji prelazeći u maglu.

Slični vremenski uslovi dovode do pojave složenih naslaga poledice i zrnastog inja.

Pojavom stratusne oblačnosti ne mora se uvek javiti zaledjivanje; ono zavisi još od vodnosti i temperature vazduha ispod baze inverzije, turbulencije, vertikalnog razvoja, gradijenta temperature i dr. meteoroloških parametara.

Zaledjivanja koja se javljaju pri frontalnim stanjima, prodoru vazdušnih masa, na njihovoj graničnoj površini, u vezi su sa naglim promenama meteoroloških elemenata i pojava duž fronta. Najčešće se javljaju naslage poledice,mokrog snega i zrnastog inja.

Pri prodoru tople vazdušne mase, duž toplog fronta, javljaju se drukčije vrste naslaga nego kod prodora hladne vazdušne mase duž hladnog fronta.

Duž toplog fronta najčešće se javljaju naslage ovalne, futrolaste ili talasave poledice, a znatno redje naslage zrnastog lepezastog inja. Na graničnoj površini hladnog fronta najčešće se javljaju naslage mokrog snega.

Velike naslage poledice najčešće se javljaju kod jako izraženih toplih frontova, kada postoje velike razlike u tem-

peraturi vazduha izmedju tople i hladne vazdušne mase. Tada toplija vazdušna masa, koja se uzlazno diže uz nagib hladnog vazduha, može održati i na većoj visini pozitivnu temperaturu. U hladnoj vazdušnoj masi, ispod toplog vazduha su negativne temperature. Na graničnoj površini toplog fronta javlja se pridignuta inverzija i to u sloju vazduha u kome su pozitivne temeprature, visoke vrednosti specifične vlage i gusti slojevi stratusne oblačnosti. Ovo je karakterističan tip vremena koji se odlikuje nimbostratusnom oblačnošću u kojoj su kapi kiše vrlo krupne, te pri kiši na zemljinoj površini, na predmetima, elementima gradjevinskih objekata i konstrukcija, putevima, drveću i mnogim drugim, obrazuju se naslage poledice znatnih dimenzija i težina.

Nisu retki slučajevi taloženja naslage poledice ispod okluzije toplog fronta, ali su dimenzije naslage manje, zbog slabe kondenzacije i malih dimenzija kapi kiše, rosulje ili magle.

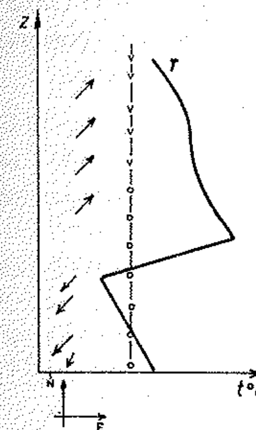
Zaledjivanja koja nastaju kod hladnog fronta, koji se kreće sporo, razlikuju se po vrstama nataloženih naslaga od onih, kod hladnog fronta, koji se brzo kreće.

U nas su poznati hladni severozapadni prodori koji donose često jake snežne padavine sa vejavicom (M.Čadež,1964).Prvo se sneg pojavi u Sloveniji i otuda preko Hrvatske predje u Bosnu, gde zbog zastoja ispred Dinarskih planina snežne padavine mogu biti naročito jake i dugotrajne.

Temperatura hladnog vazduha, koji sa severozapada prodire u našu zemlju, je i u hladnoj polovini godine često pozitivna. Kada prodru hladne vazdušne mase se razliju u veći deo zapadnog dela Panonskog basena i počnu da se na severnoj strani Dinarskih planina nagomilavaju pa se u ovoj oblasti pojave padavine zbog nagomilavanja i dizanja. Na početku pada kiša a na malo većim visinama sneg. Zbog topljenja snežnih pahuljica atmosfera se hladi i temperatura se moža smanjiti za nekoliko stepeni dok se ne smanji na 0°C. Pri tlu počinje padati mokar sneg koji se lepi za telefonske žice i električne vodove. Zbog isparavanja snežnih pahuljica i noćne radijacije temperatura se smanji ispod 0°C.

Granica izmedju vazduha rashladjenog zbog topljenja snežnih pahuljica, a može i snežnog pokrivača, i susednog obično je lepo izražena i može se pratiti kao pravi hladan front (pseudofront).

Dešava se da kišne kapi pre nego što padnu na zemljinu površinu ulaze u sloj vazduha sa temperaturom manjom od 0°C. Prilikom daljeg padanja voda tih kapi smrzava, delom ili potpuno, i na hladnom tlu pojavi se poledica. Na sl. 1.36. prikazan je karakterističan raspored temperature sa visinom kada pada ledena kiša i stvara se poledica. Naročito je to opasno kada duva jak vetar. Takav je bio slučaj u januaru 1963.godime u dolini Neretve kada se pod teretom leda i jake bure lomilo drveće i kidale žice i povijali gvozdeni stubovi dalekovoda (Čadež,1963.). Velike štete od ledenih kiša koje su se dogodile u Fruškoj Gori opisao je M.Milosavljević (1957.).



Sl.1.36. Karakterističan raspored temperature (t) sa visinom kada pada ledena kiša i stvara se poledica (Čadež,1964.).

1.3. Metodologija proračuna dodatnog opterećenja usled zaledjivanja

Metodologija proračuna dodatnog opterećenja usled zaledjivanja sastoji se u nalaženju verovatnoće računate maksimalne težine naslage za elemenat projektovanog gradjevinskog objekta ili konstrukcije, a zasniva se na prethodnim merenjima zaledjivanja i složenoj analizi o meteorološko-klimatološkim karakteristikama zaledjivanja u lokalitetu budućeg objekta ili konstrukcije. Za izračunavanje vrednosti dodatnog opterećenja

usled zaledjivanja neophodno je, pored meteoroloških parametara, uzeti u obzir i parametre projektovanog elementa, njegovu dimenziju, visinu, izloženost i dr. U prvom redu, potrebno je proučiti uslove zaledjivanja u kome će se naći budući objekt ili konstrukcija, a zatim računati vrednosti dodatnog opterećenja.

Najjednostavnija formula za izračunavanje težine odnosi se na naslage koje se talože na žici uredjaja ili elementu cilindričnog ili kruškastog oblika. Tada zapreminu nataložene naslage nalazimo kao razliku ukupne zapremine zaledjene žice umanjene zapreminom žice. Uzimajući ovo u obzir, formula za izračunavanje težine cilindrične naslage ima oblik:

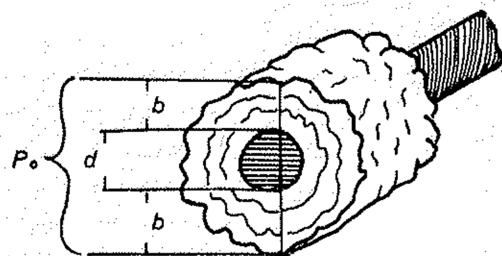
$$G = \frac{\pi}{4}(P_o^2 - d^2)\gamma' l \cdot 10^{-3} \qquad (1.11)$$

G-je težina naslage, u kg; P_o-prečnik naslage zajedno sa prečnikom žice, u mm; d-prečnik žice u mm; γ' -gustina naslage gr/cm³ l-dužina žice, u m.

Umesto prečnika naslage (P_o) u praksi se često koristi parametar o debljini zida naslage (b):

$$P_o = 2b + d \qquad (1.12)$$

Na sl. 1.37. prikazan je poprečni presek cilindrične naslage nataložene na žici.



Sl. 1.37. Poprečni presek cilindrične naslage; P_o-prečnik naslage sa žicom uredjaja, d-prečnik žice i b-debljina zida naslage

Zamenjujući u formuli (1.11) prečnik naslage (P_o) debljinom zida naslage (b) dobijamo sledeću formulu za težinu naslage cilindričnog oblika:

$$G = \pi b \gamma l (b+d) \qquad (1.13)$$

Za gustinu naslage (γ') uzimaju se različite vrednosti u svakoj zemlji, tako, na primer, u SSSR-u prema propisima o gradnji gradjevinskih objekata i konstrukcija (1965.) za gustinu se uzima 900 kg/m³; u Švedskoj 750 kg/m³; u SAD, Kanadi, Engleskoj i Italiji 920 kg/m³, a u hidrometeorološkoj službi SR Srbije 900 kg/m³.

Uzimajući vrednost 900 za gustinu naslage i za dužinu l=1m, formula (1.11) dobija sledeći oblik:

$$G = 283b(b+d)\cdot 10^{-3} kg/m \qquad (1.14)$$

b i d su u santimetrima.

Kako se na meteorološkim stanicama najčešće mere prečnik (P) i debljina (D) naslage, zbog njenog eliptičnog oblika, mora se dovesti oblik naslage na kružni oblik zamenom:

$$P_o^2 = P \cdot D$$

a njenu težinu odredjujemo formulom:

$$G = \frac{\pi}{4}(P \cdot D - d^2)\gamma' l \qquad (1.15)$$

γ'-je gustina osmotrene naslage.

Debljinu zida (b) nataložene naslage možemo izračunati iz formula (1.13) i (1.15) tako da dobijamo:

$$b = \frac{1}{2}\left[\sqrt{(P \cdot D - d^2)\frac{\gamma'}{\gamma} + d^2} - d\right]$$

Gustina izmerene naslage (γ') je različita za svaku vrstu naslage. Ako se uzme za maksimalnu gustinu naslage γ=900 kg/m³, za prečnik žice uredjaja d=o.5 cm, tada debljinu zida naslage (b) koja ima gustinu γ'=100 kg/m³, izračunavamo prema formuli:

$$b = \frac{1}{2}\left[\sqrt{\frac{P \cdot D}{9} + 0.22} - 0.5\right]$$

ili, koja ima gustinu naslage γ'=300 kg/m³, prema formuli:

$$b = \frac{1}{2}\left[\sqrt{\frac{P \cdot D}{3} + 0.17} - 0.5\right]$$

Analogno se mogu dobiti formule i za debljinu zida drugih vrsta naslage koje imaju različite gustine (γ').

Za teritoriju SR Srbije koriste se sledeće gustine (γ') u kg/m³:

-Za poledicu 75o,

-za složene naslage (poledice i zrnastog inja): 350, osim za planinske krajeve, kada se uzima 320,

-Za zrnasto inje: 320, osim za planinske krajeve, kada se uzima 300,

-Za naslagu mokrog snega: 300, osim za planinske krajeve kada se uzima 250,

-Za kristalasto inje: 150, osim za planinske krajeve, kada se uzima 100 kg/m³.

Instrumentalna osmatranja i merenja zaledjivanja koja se sistematski sprovode na meteorološkim stanicama i po

potrebi na odabranim mernim punktovima (podstanicama) zbog konstrukcije samog uredjaja ne daju pravu sliku o zaledjivanju elemenata gradjevinskog objekta ili konstrukcije u uslovima njihove eksploatacije. Elementi imaju vrlo različite oblike i dimenzije, a isto tako,i visinu iznad zemljine površine, pa prema tome i različiti oblik, dimenzije i težinu nataložene naslage nego na žici uredjaja za osmatranje i merenje zaledjivanja.

Da bi se što tačnije izračunalo dodatno opterećenje na elementima nekog gradjevinskog objekta ili konstrukcije u uslovima njihove eksploatacije moraju se u proračun o debljini zida nataložene naslage na žici uredjaja, uvesti izvesni koeficijenti za popravku, za prečnik (K_d) i visinu (K_h). Utvrdjivanje ovih koeficijenata za svako fizičko-geografsko područje je dosta složeno, pa se najčešće sprovode specijalna uporedna merenja na ogledno-istraživačkoj stanici, koja se najčešće postavlja u fizičko-geografskom području koje se odlikuje većom čestinom javljanja i trajanja zaledjivanja, većim dimenzijama i težinom naslage nego u ostalim.

Za teritoriju SR Srbije postavljena je ogledno-istraživačka stanica za specijalna ispitivanja zaledjivanja. U okviru ovakvih ispitivanja sprovode se i uporedna merenja zaledjivanja na uredjaju za osmatranje i merenje zaledjivanja i na posebnim uredjajima za gradijentna merenja, radi utvrdjivanja pomenutih koeficijenata. Eksperimentalna istraživanja ovih gradijentnih merenja, imaju za cilj da se procene uticaji parametara na dimenziju i težinu naslage, a koji zavise od promene prečnika žice (provodnika) K_d i njihove visine iznad zemljine površine - K_h.

Jedan od metoda za proračun dodatnog opterećenja usled ledenih naslaga predložen je i od Medjunarodne elektrotehničke komisije (Venecija, 1979). Medjutim, ovaj metod odnosi se samo za konstrukcije nadzemnih vodova nominalnog napona većeg od 45 kV.

Metod koristi podatke o težinama ledenih naslaga, odnosno, srednje višegodišnje podatke o težinama naslage i o njihovom standardnom odstupanju (devijaciji). U zavisnosti od godišnjeg niza osmatranja predložene su vrednosti za maksimalnu i minimalnu standardnu devijaciju. Tako, za višegodišnja osmatranja od 10 do 20 godina maksimalna standardna devijacija je 0.7 g_c, a minimalna 0.5 g_c; za osmatranja preko 20 godina maksimalna devijacija je takodje 0.7 g_c.

g_c je srednja težina ili opterećenje usled ledenih naslaga za posmatrani period.

Ako se raspolaže samo sa podatkom o maksimalnoj težini, odnosno opterećenju (g_{max}), mogu se izračunati vrednosti za srednje dodatno opterećenje (g_c) i standardnu devijaciju (σ_g), a u zavisnosti od posmatranog perioda, broja godina osmatranja (n), i to prema sledećoj tablici:

Broj godina osmatranja (n)	Srednja vrednost opterećenja (g_c)	Standardna devijacija (σ_g)
$8 \leq n < 14$	0.55 g_{max}	0.5 g_c
$14 \leq n < 20$	0.45 g_{max}	0.5 g_c
$20 \leq n$	0.35 g_{max}	0.5 g_c

Za referentno projektovano opterećenje usled ledenih naslaga (g_r) uzimaju se sledeći parametri:

K_G-koeficijent koji zavisi od klase sigurnosti konstrukcije i relativne devijacije opterećenja, a prema tablici:

Relativna devijacija σ_g/g_c	Klase sigurnosti 1	2	3
0.2	1.8	2.1	2.3
0.3	2.3	2.7	3.0
0.4	2.8	3.2	3.6
0.5	3.3	3.8	4.3
0.6	3.7	4.4	5.0
0.7	4.2	5.0	5.7

g_c-srednja vrednost godišnjih maksimalnih opterećenja usled ledenih naslaga,

σ_g-standardna devijacija godišnjih maksimalnih opterećenja usled ledenih naslaga,

K_d-koeficijent koji zavisi od prečnika provodnika; prečnik od 10 do 60 mm menja se od 0.8 do 1.4.

K_h– koeficijent koji zavisi od visine provodnika iznad zemljine površine; za visine od 10 do 30 m menja se od 0.8 do 1.2, a za visine od preko 30 m K_h=1.15.

Referentno projektno opterećenje (g_r) iznosi:

$$g_r = K_G\, K_d\, K_h\, g_c$$

Mada su za izračunavanje ovog opterećenja uzeti svi važniji parametri, treba primetiti, da uticaj reljefa na opterećenje nije uzet u obzir, zbog složenosti pri odredjivanju kvantitativnog uticaja lokalne topografije na zaledjivanje nadzemnih provodnika.

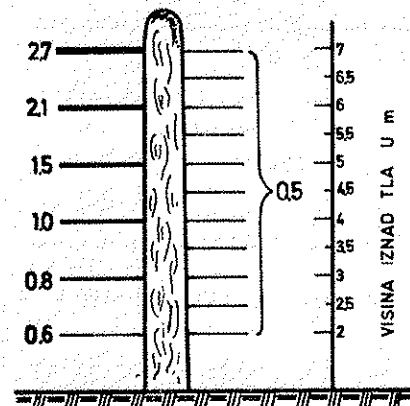
1.3.1 Gradijentna merenja zaledjivanja

Povećanje težine ledene naslage na provodniku, zbog pomenutih faktora (prečnik i visina provodnika iznad zemljine površine), može se odrediti sledećim odnosom:

$$K_p = \frac{G}{G_o} \qquad (1.16)$$

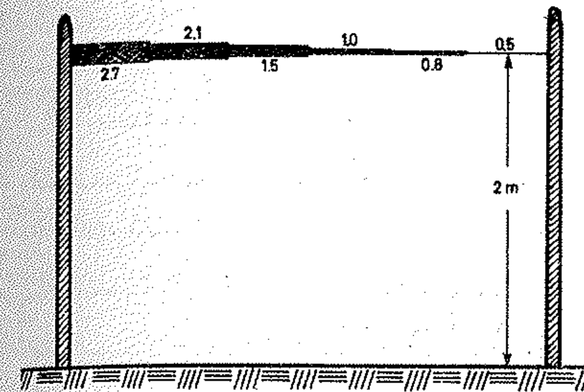
K_p-koeficijent rasta naslage; G-težina nataložene naslage na jednom od provodnika koji su postavljeni na različitim visinama ili na jednom od provodnika sa različitim prečnikom; G_o-težina naslage na žici uredjaja za merenje zaledjivanja.

Uticaj visine i prečnika provodnika na rast naslage ispituje se na stubu za gradijentna merenja. Na sl. 1.38. prikazan je stub za gradijentna merenja na kome su postavljeni provodnici (žice) na različitim visinama: 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5,5, 5.5, 6, 6.5 i 7 m iznad zemljine površine, a koje imaju prečnik 0.5 cm. Na ovim visinama postavljeni su i provodnici koji imaju prečnike: 0.6, 0.8,1.0, 1.5, 2.1 i 2.7 cm. Na sl. 1.39. prikazan je uredjaj sa provodnicima koji imaju istu visinu iznad zemljine površine, ali različite prečnike (0.6,0.8,1.0,1.5,2.1 i 2.7 cm).



Sl.1.38 Stub za gradijentna merenja

Istovremeno se meri zaledjivanje na stubu za gradijentna merenja, uredjaju sa različitim prečnikom i uredjaju za standardna osmatranja i merenja zaledjivanja.



Sl. 1.39. Uredjaj za merenje zaledjivanja u zavisnosti od prečnika provodnika

1.3.1.1 Odnos zaledjivanja i prečnika provodnika

Višegodišnja osmatranja zaledjivanja na uredjaju sa različitim prečnicima provodnika i na standardnom uredjaju koristila su se za izračunavanje debljine zida naslage prema vrstama naslage i traženju njihovih odnosa. Naime, koeficijent popravke u funkciji dimenzije provodnika (K_d) dobija se iz odnosa računatih debljina zida naslage nataložene na standardnom uredjaju – b_{o5} i uredjaju sa različitim prečnicima – b_d:

$$K_d = \frac{b_{o5}}{b_d} \qquad (1.17)$$

Iz tablice 1.2 lako je pratiti odnose srednje višegodišnje vrednosti debljine zida i težine naslage, i koeficijenta popravke u zavisnosti od prečnika provodnika. Ovde se obrada podataka odnosila samo na vrste ledenih naslaga (zrnasto inje, poledicu i složene naslage).

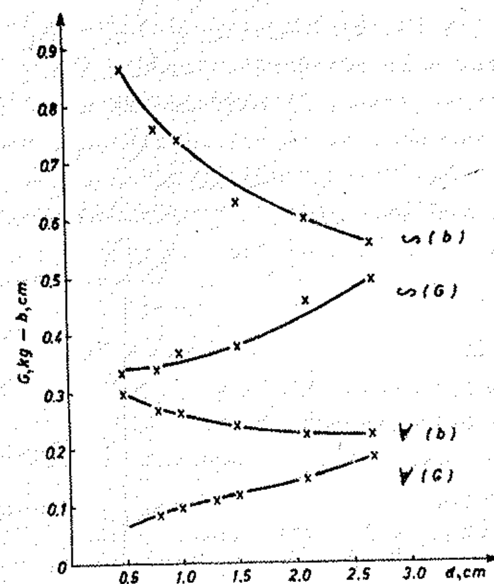
Kao što se vidi iz tabl.1.2 debljina zida naslage (b) opada sa povećanjem prečnika provodnika, a težina (G) raste. Na sl. 1.40. i 1.41. su prikazane ove promene grafički.

Kod složenih naslaga se smanjuje samo za prečnik provodnika od 0.5 do 1.0 cm, a zatim, naglo raste sa povećanjem

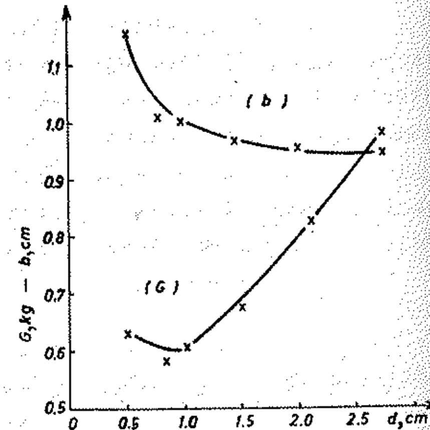
prečnika.

Tablica 1.2

Parametri zaledjivanja	Prečnik provodnika (d, u cm)					
	0.5	0.8	1.0	1.5	2.1	2.7
		Zrnasto inje				
Debljina naslage (b,u cm)	0.3	0.27	0.27	0.24	0.22	0.22
Težina naslage (G, u Kg)	0.10	0.10	0.11	0.12	0.15	0.20
Koefici-jenat (Kd)	1.00	0.9	0.9	0.8	0.7	0.7
		Poledica				
Debljina zida naslage (b,u cm)	0.86	0.76	0.74	0.63	0.60	0.56
Težina naslage (G, u kg)	0.35	0.34	0.37	0.40	0.46	0.500
Koeficijent (Kd)	1.00	0.88	0.86	0.75	0.72	0.65
		Složene naslage				
Debljina zida naslage (b,u cm)	1.26	1.09	1.05	0.97	0.96	0.95
Težina naslage (G, u kg)	0.63	0.59	0.61	0.68	0.83	0.99
Koeficijent (Kd)	1.00	0.88	0.83	0.77	0.76	0.75

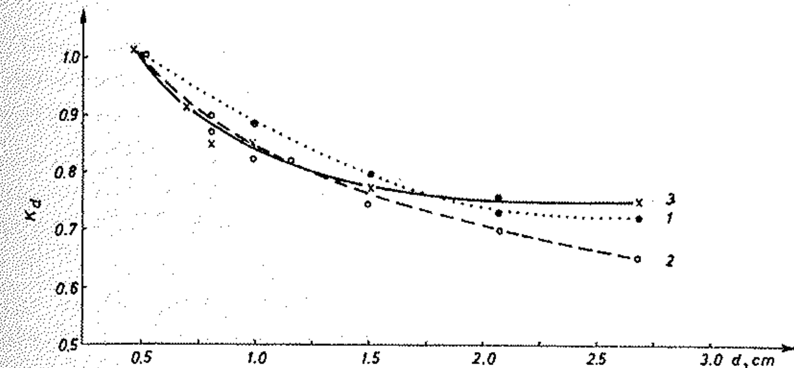


Sl.1.40. Promene debljine zida (b) i težine (G) naslage poledice (⤳) i zrnastog inja (¥) pri povećanju prečnika provodnika



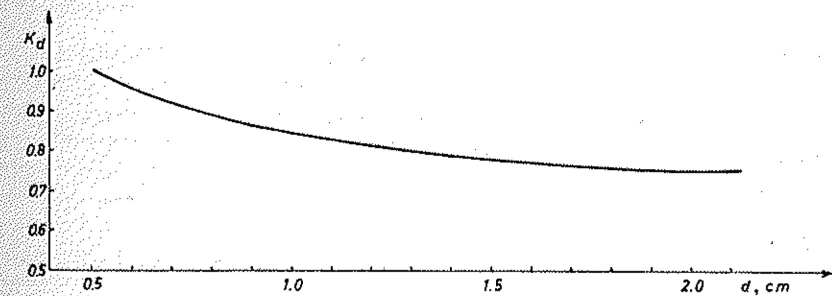
Sl. 1.41. Promene debljine zida (b) i težine (G) složene naslage pri promeni prečnika provodnika

Kako su analizirani odnosi prečnika i parametara ledenih naslaga na sl. 1.42 daje se odnos prečnika provodnika i



Sl. 1.42. Promene koeficijenta (K_d) za popravku u odnosu na prečnik provodnika: 1-zrnasto inje, 2-poledica i 3-složene naslage

koeficijenta (K_d) posebno za svaku naslagu, a na sl. 1.43. odnos prečnika provodnika i srednje vrednosti koeficijenta (K_d) ledenih naslaga.



Sl. 1.43. Koeficijent za popravku debljine zida ledenih naslaga (K_d) u zavisnosti od prečnika provodnika (d)

Na taj način, dobijen je grafikon o promeni koeficijenta za popravku (K_d) u funkciji prečnika provodnika, a za naše fizičko-geografsko područje.

1.3.1.2 Odnos zaledjivanja i visine provodnika iznad zemljine površine

Odnos zaledjivanja i visine provodnika iznad zemljine površine ispituje se pomoću uredjaja za gradijentna merenja, kako je već izneto. Prikupljeni podaci o prečniku i debljini nataloženih naslaga izdvojeni su za svaku naslagu posebno, a naročito za ledene naslage: poledicu, zrnasto inje i složene naslage, koje imaju praktični značaj za gradjevinske objekte i konstrukcije.

U tabeli 1.3. prikazane su srednje dvogodišnje vrednosti debljine zida naslage, težine i koeficijenta K_h za visine: 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5, 5.5, 6, 6.5 i 7 m iznad zemljine površine, posebno za svaku vrstu naslage.

Tabela 1.3

Odnos izmedju visine provodnika iznad zemljine površine i parametra zaledjivanja

Parametri zaledjivanja	Visina provodnika iznad zemljine površine (u m)										
	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7
	Zrnasto inje										
Debljina zida naslage (b) u cm	0.40	0.35	0.41	0.35	0.47	0.42	1.04	0.64	0.73	0.69	1.03
Težina naslage (G),(u kg)	0.10	0.09	0.11	0.09	0.13	0.11	0.45	0.21	0.26	0.23	0.45
Koeficijent (K_h)	1.00	0.87	1.02	0.87	1.17	1.05	2.60	1.60	1.82	1.72	2.57
	Poledica										
Debljina zida naslage (b) u cm	1.19	1.25	1.31	1.37	1.30	1.34	1.36	1.48	1.64	1.77	2.24
Težina naslage (G),(u kg)	0.54	0.62	0.67	0.73	0.66	0.70	0.71	0.79	0.99	1.14	1.74
Koeficijent (K_h)	1.00	1.05	1.10	1.15	1.09	1.12	1.14	1.24	1.38	1.48	1.88
	Složene naslage										
Debljina zida naslage (b) u cm	1.14	1.o8	1.25	1.14	1.14	1.22	1.43	1.25	1.29	1.5o	1.86
Težina naslage (G),(u kg)	0.53	0.50	0.62	0.53	0.53	0.60	0.78	0.62	0.66	0.85	1.25
Koeficijen (K_h)	1.00	0.94	1.09	1.00	1.00	1.07	1.25	1.09	1.13	1.31	1.63

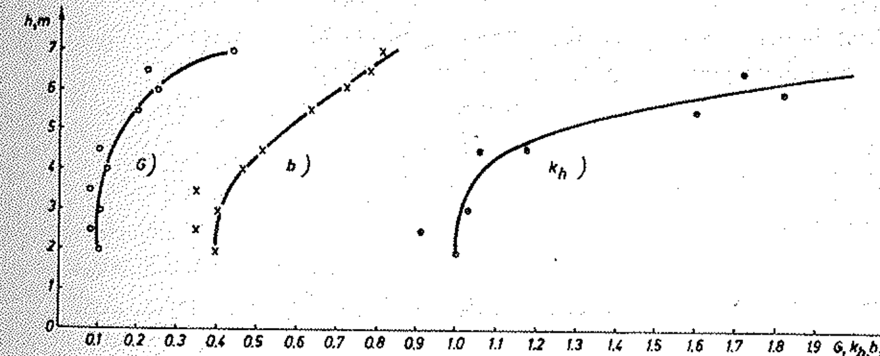
Koeficijent za popravku zbog visine provodnika iznad zemljine površine (K_h) računa se iz odnosa:

$$K_h = \frac{b_h}{b_2} \qquad (1.18)$$

b_h-debljina zida naslage na visini h, a b_2 debljina zida naslage na visini žice (provodnika) standardnog uredjaja, odnosno na visini 2 m iznad zemljine površine.

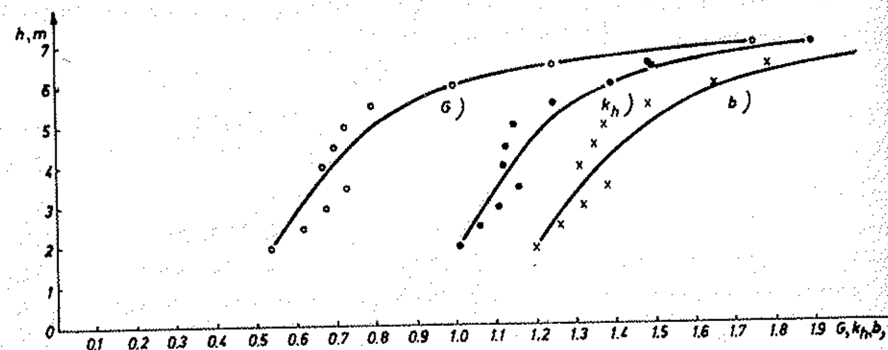
Posmatrajući podatke o promeni debljine zida, težine i koeficijenta za popravku zbog visine provodnika iznad zemljine površine date u tablici 1.3 lako je primetiti da povećanje njihove vrednosti sa visinom nije linearno. Na pojedinim visinama rast naslage stagnira ili opada. Verovatno su razlozi:kratak period osmatranja, složeno i otežano merenje na stubu,ili uticaji turbulencije i dr. fizičko-meteororoloških činilaca. Na ovoj ogledno-istraživačkoj stanici nisu vršena uporedna merenja zaledjivanja, vetra i vlažnosti vazduha sa visinom.

Na sl. 1.44., 1.45. i 1.46. prikazane su promene debljine zida, težine i koeficijenta za popravku sa visinom provodnika iznad zemljine površine, a za svaku vrstu ledene naslage posebno.



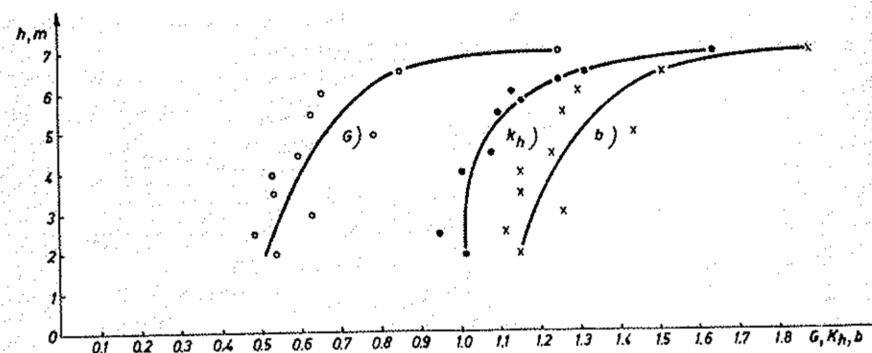
Sl. 1.44. Promena težine (G) u kg/m, debljina zida (b) u cm, i koeficijenta za popravku (K_h) sa visinom,za naslagu zrnastog inja

Srednje vrednosti koeficijenta (K_h) za dvogodišnji period, za sve vrste ledenih naslaga, koriste se za izradu grafikona na kome je kriva raspodele K_h sa visinom. Treba primetiti da je kriva aproksimirana za veće visine.



Sl. 1.45. Promene debljine zida (b) u cm, težine (G) u kg/m i koeficijenta za popravku (K_h) sa visinom, za naslagu poledice

U tabeli 1.4 prikazane su srednje vrednosti koeficijenta za popravku (K_h) za ledene naslage. Svakavko, da osmatranja samo u toku dve godine nisu dovoljna da se sakupe potrebni



Sl. 1.46. Promena debljine zida (b) u cm, težine (G) u kg/m, i koeficijenta za popravku (K_h) sa visinom, za složenu naslagu

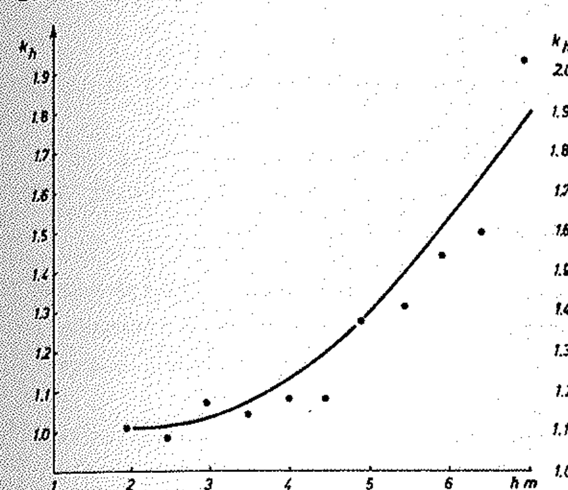
podaci koji bi omogućili da se izvedu sigurniji zaključci o raspodeli zaledjivanja provodnika sa visinom.

Tabela 1.4

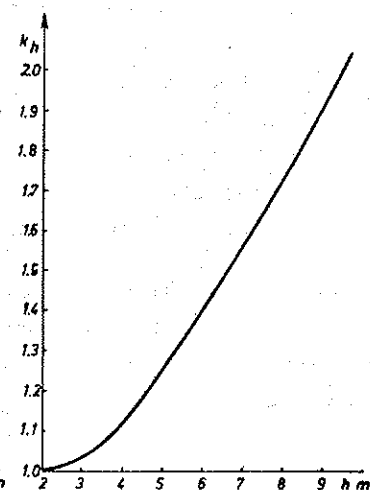
Promene K_h sa visinom provodnika

h, m	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7
K_h	1.00	0.95	1.07	1.04	1.08	1.08	1.66	1.31	1.44	1.50	2.02

Na sl. 1.47. prikazana je kriva raspodele koeficijenta za popravku (K_h) sa visinom (prema tabeli 1.4). a na sl. 1.48. aproksimirana kriva raspodele K_h sa visinom na osnovu podataka iz tablice 1.3. Kratak period osmatranja onemogućuje da se dobije tačnija raspodela K_h, a isto tako, i aproksimira za veće visine.



Sl. 1.47. Raspodela (K_h) sa visinom do 7 m iznad tla



Sl.1.48. Raspodela srednje vrednosti K_h za visine do 10 m iznad tla

Za praktične potrebe, pri proračunu debljine zida naslage, za visine do 10 m iznad zemljine površine, koristi se grafikon sa raspodelom koeficijenta K_h, prikazan na sl. 1.48.

Prikazani koeficijenti K_d i K_h dobijeni su na osnovu vrlo malog broja eksperimentalnih osmatranja. Vrednost njihovog proizvoda, koja iznosi 1.6, pogodna je samo za onu teritoriju na kojoj su vršena osmatranja. Koeficijenti, kao i gustina naslage zavise od kompleksa meteoroloških faktora koji odredjuju obrazovanje naslage u pojedinim fizičko-geografskim područjima.

1.3.2 Praktične formule za proračun težine ledene naslage

Za praktične potrebe koristimo tzv.normativnu debljinu zida naslage ali sa koeficijentima za popravku K_h i K_d

a prema formuli:

$$b_N = K_h \cdot K_d \cdot b \qquad (1.19)$$

Pod normativnom debljinom zida naslage podrazumevamo debljinu zida naslage nataložene na provodniku koji ima prečnik 10 mm, a nalazi se na visini 10 m iznad zemljine površine, odnosno, kod koga su koeficijenti za popravku: K_d=0.8 i K_h=2.0; tako, da normativna debljina zida naslage iznosi:

$$b_N = 1.6\ b \qquad (1.20)$$

Normativnu težinu naslage izračunavamo prema formuli:

$$G_N = \pi b_N\ (b_N + d)\ \gamma \qquad (1.21)$$

Opterećenja usled zaledjivanja na elementima gradjevinskih objekata i konstrukcija, koji imaju drukčiji oblik nego provodnici ili žice, računaju se prema formuli:

$$G = K_o\ b_N \cdot \gamma \qquad (1.22)$$

K_o-koeficijent zahvata, koji je odredjen odnosom izmedju površine elementa pokrivene naslagom i izložene površine elementa. I ovde je $b_n = K_h\ K_d\ d$, a γ kao i u prethodnim formulama je gustina naslage.

Za izračunavanje gustine naslage koristi se formula:

$$\gamma = G/78\ (P \cdot D - d^2) \qquad (1.23)$$

G-težina naslage izmerena na stanici, u gramima, a P i D prečnik i debljina ove naslage, u santimetrima; γ -gustina naslage u gramima.

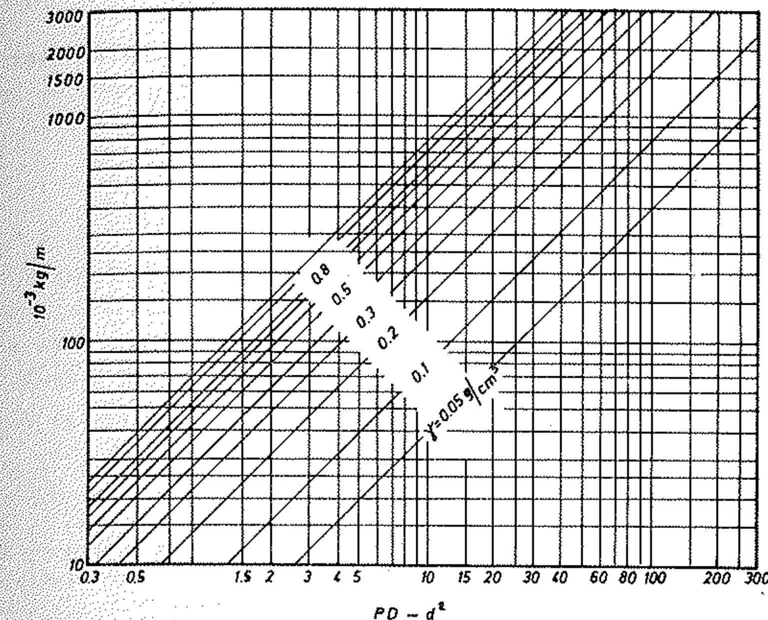
Prema ovoj formuli konstruisan je dijagram koji je prikazan na sl. 1.49. (M.V.Zavarina, 1976). Na dijagramu su po apscisi vrednosti ($PD-d^2$), u cm², a po ordinati vrednosti (G) u 10^{-3} kg na jedan metar.

Gustina naslage se menja sa promenom nadmorske visine, a takodje zavisi i od prečnika žice ili provodnika na kome se naslaga taloži. Sa povećanjem nadmorske visine gustina naslage opada, a sa povećanjem prečnika raste.

1.3.3 Nalaženje verovatnoće težine naslage

Izračunavanje debljine zida naslage i težine vrši se posebno za svaku stanicu i merni punkt. Iz višegodišnjih izračunatih veličina o debljini zida ili težini naslage mogu se izdvojiti njihove najveće godišnje ili mesečne vrednosti-maksimumi. Medjutim, kako kod projektovanja gradjevinskih objekata

i konstrukcija svaki element ima svoj vek trajanja propisi za gradnju ovakvih objekata predvidjaju korišćenje najveće težine



Sl. 1.49. Dijagram za odredjivanje gustine naslage (Zavarina, 1976)

koja se javlja jednom u 5, 10, 15, 20, 50 i više godina. U mnogim slučajevima ne mogu se dati ovakvi podaci s obzirom na period osmatranja stanice. S druge strane, korišćenje apsolutnog maksimuma za proračun dodatnog opterećenja za mnoge objekte nije ekonomski opravdano, pa se za potrebe projektovanja elemenata velikih gradjevinskih objekata i konstrukcija sve više koristi metod nalaženja verovatnoće računate maksimalne težine naslage umesto apsolutne maksimalne težine.

Verovatnoću računate maksimalne težine naslage ili debljine zida naslage nalazimo na osnovu raspodele njihovih mesečnih ili godišnjih maksimuma, koji se tako rasporedjuju da prate krivu raspodele odredjene eksponencijalne funkcije. Za proračun dodatnog opterećenja najčešće se traži verovatnoća računate maksimalne debljine zida koja se javlja jednom u 5, 10, 15 i više godina, a na osnovu ove izračunava težina naslage i dodatno opterećenje usled zaledjivanja na element gradjevinskog objekta ili konstrukcije.

Vrednosti debljine zida (b) zadate verovatnoće izračunavaju se pomoću integralne verovatnoće mesečnih ili godišnjih maksimuma.

Prema Fišeru i Tipitu (1941.,1958) raspodela maksimalnih veličina, i ako nema potpuni niz osmatranja, može se izraziti sledećim funkcijama:

$$1.\ F(x) = e^{-e^{-x}}$$

$$2.\ F(x) = e^{-e^{-\alpha}}$$

$$3.\ F(x) = e^{-(x)^{\alpha}}$$

Raspodelu verovatnoće predstavljenu pod br. 3, koristimo u onim slučajevima, kada je donja granica nekog niza nula, a gornja neodredjena. Kako debljina zida naslage ne može imati negativne vrednosti, donja granica vrednosti debljine zida može biti nula, a gornja bilo koja vrednost, koja u dužem periodu osmatranja može biti premašena. Zbog toga je najpogodnije nizove veličina debljine zida (b) ili normativne debljine zida (b_n) aproksimirati funkcijom drugog tipa u sledećem obliku:

$$F(b) = e^{-(\frac{b}{\beta})^{-\alpha}} \qquad (1.24)$$

U ovoj funkciji $b > 0$, a β brojno jednaka debljini zida naslage b, koja ima verovatnoću f (b)=0,358; α-tangens ugla koji zaklapa prava sa ordinatom, a dobija se dvostrukim logaritmovanjem jednačine (1.24):

$$lg\,lg\left[\frac{1}{F(b)}\right] = \alpha(lg\,b - lg\,\beta)$$

Debljine zida naslage, a naročito normativne debljine zida naslage koje se javljaju jednom u 5 ili 10 godina, odredjujemo pomoću metoda ekstrapolacije koristeći dijagram. Prema preporukama Toma (1954) ovakav se dijagram koristi za proračun maksimalne brzine vetra odredjene verovatnoće.

Kordinate na dijagramu za ekstrapolaciju debljine zida naslage su $lg\,lg\left[1/F(b)\right]$ i $lg(b)$ a vrednosti b, koje imaju verovatnoću F (b) se odredjuju pomoću formule:

$$F'(b) = \frac{m}{n+1}\ 100\% \qquad (1.25)$$

n-je broj članova niza, m-redni broj članova rasporedjenih u rastućem poretku.

Na sl. 1.50. prikazan je dijagrm za ekstrapolaciju debljine zida ili normativne debljine zida naslage.

Koristeći se istom funkcijom (1.25) i metodom za izradu dijagrama za ekstrapolaciju i izračunavanje vrednosti integralne verovatnoće, možemo, umesto debljine zida naslage (b)

odrediti verovatnoću računate maksimalne težine naslage (G), koja se javlja jednom u 5, 10, 15 i 20 godina, a prema dijagramu na sl. 1.51.

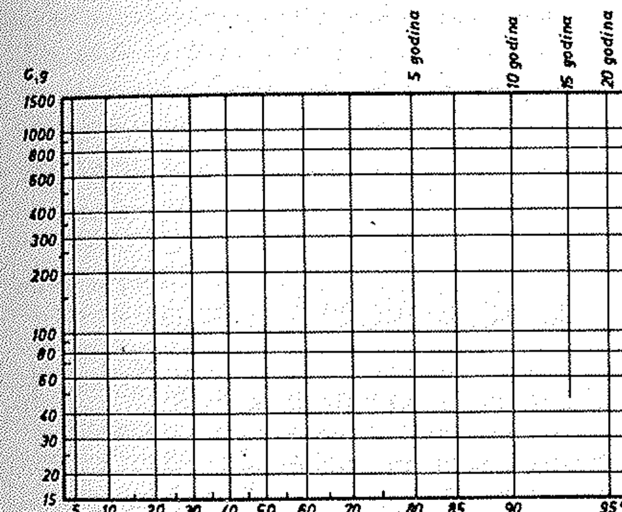
Sl. 1.50. Dijagram za ekstrapolaciju debljine zida (b) naslage u cm

Da li će dodatno opterećenje, odredjeno prema funkciji raspodele za maksimalne vrednosti F (G) biti premašeno odredjuje se verovatnoćom:

$$F'(G) = 1 - F(G)$$

Period javljanja maksimalnih vrednosti odredjujemo prema formulama:

$$T = \frac{1}{F(G)} \quad ili \quad T = \frac{1}{1 - F'(G)}$$



Sl. 1.51. Dijagram za ekstrapolaciju težine naslage (G) u gramima

Verovatnoću maksimalne debljine zida naslage, koja je u funkciji težine b=f(G) ili, težine u funkciji debljine zida G=f(b) jednostavnije nalazimo pomoću dijagrama.

Za izračunavanje težine naslage pomoću normativne debljine zida naslage, u poslednje vreme, koristi se odnos $b_n = 1.6 \cdot b$, odnosno, koristi se verovatnoća računate maksimalne normativne debljine zida naslage F (b_n) da bi se dobilo maksimalno normativno dodatno opterećenje (G_n).

1.3.4 Odnos verovatnoće debljine zida naslage sa različitim periodima javljanja

U proračun dodatnog opterećenja gradjevinskih objekata i konstrukcija, za koje se traži da u eksploataciji rade bez prekida i bezbedno, i za koje bi eventualna havarija ili oštećenja usled zaledjivanja bile opasne za okolnu sredinu, a prekidi u radu stvorili velike gubitke, ne uzima se verovatnoća računate normativne debljine zida koja se javlja jednom u pet godina, već se traže znatno duži periodi javljanja jednom u 15, 20 i više godina. Nalaženje ove verovatnoće debljine zida sa dužim periodom javljanja bez višegodišnjih podataka o zaledjivanju dosta je složen zadatak i zahteva korišćenje rezultata merenja i istraživanja sa dužim periodom osmatranja. Ukoliko raspolažemo podacima o verovatnoći debljine zida naslage koja se javlja jednom u 5 i 10 godina, putem uporednih odnosa nalazimo koeficijente za preračunavanje verovatnoće debljine zida za duži period javljanja. Ovaj koeficijent ($\mathcal{H}_b$) dobijamo iz sledećih odnosa:

$$\mathcal{H}_b = b_{10}/b_5 = b_{20}/b_{10} = b_{40}/b_{20} = 2^{1/\alpha} \qquad (1.26)$$

α je ugao izmedju tangente na krivu raspodele za debljinu zida naslage i ordinate. Stepen relativnog rasipanja ovih vrednosti zavisi od ovog ugla.

Iz formule (1.26) dobijamo za odnos verovatnoće debljine zida naslage koja se javlja jednom u 5 i 20 godina:

$$b_{20}/b_5 = \mathcal{H}_b^2 \qquad (1.27)$$

Koeficijent $\mathcal{H}_b$ se menja različito, a u zavisnosti od uslova zaledjivanja. U lokalitetima sa čestim javljanjem zaledjivanja i većim dimenzijama ledenih naslaga $\mathcal{H}_b$=1.69, a u lokalitetima sa malim čestinama javljanja i slabim intenzitetom zaledjivanja $\mathcal{H}_b$=1.96. (Zavarina, 1976).

Ako se umesto odnosa verovatnoće debljine zida posmatra odnos verovatnoće težine naslage sa različitim periodima javljanja, dobijamo koeficijent za preračunavanje sa manjeg na duži period javljanja ($\mathcal{H}_G$):

$$\mathcal{H}_G = G_{10}/G_5 = G_{20}/G_{10} = G_{40}/G_{20} \qquad (1.28)$$

U nedostatku podataka o uporednim istraživanjima i merenjima zaledjivanja na elementima sa različitim oblicima i dimenzijama nego žice uredjaja, a koje se uglavnom sprovode na

ogledno-istraživačkim stanicama, vrednosti koeficijenta za popravku zbog oblika nalazimo posrednim putem, na osnovu podataka o brzini vetra, vodnosti magle, rosulje ili oblaka, zatim o mikrostrukturi kapljica i drugih pojava koje prate preocese zaledjivanja.

Koeficijente za popravku dodatnog opterećenja za elemente cilindričnog oblika (K_d) dobijamo iz odnosa:

$$K_d = G_d/G_5 \qquad (1.29)$$

G_5 je težina naslage na žici uredjaja, a G_d težina naslage na elementu cilindričnog oblika koji ima prečnik d, a izračunava se pomoću formule:

$$G_d = \tilde{\sigma}\beta_\alpha d w V \tau$$

$\tilde{\sigma}$-integralni koeficijent zahvata, koji je odredjen efektivnim brojem prehladjenih kapi magle ili rosulje, zahvaćenih elementom prečnika d; β_α-koeficijent zahvata naslage elementom; w-vodnost magle ili rosulje; V-brzina vetra i τ-trajanje rasta naslage.

Vrednosti koeficijenata (K_d) u zavisnosti od brzine vetra prikazani su u tabeli 1.5 Vrednosti se odnose na elemente koji imaju dužinu jedan metar i prečnik d.

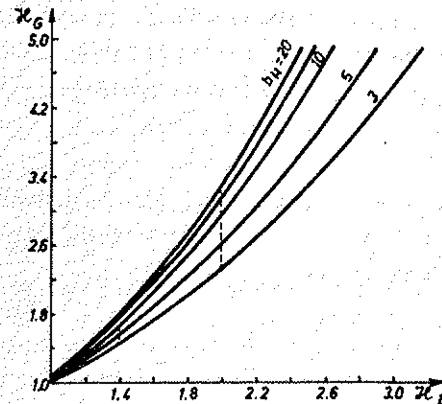
Tabela 1.5

Vrednosti koeficijenta $K_d=G_d/G_5$ za elemente cilindričnog oblika u zavisnosti od brzine vetra i prečnika (Zavarina, 1976)

Brzina vetra (m/s)	G_{10}/G_5	G_{15}/G_5	G_{20}/G_5	G_{25}/G_5	G_{30}/G_5	G_{34}/G_5	G_{48}/G_5	G_{35}/G_{15}	G_{120}/G_{15}
3	1.12 / 1.32	1.25 / 1.11	–	1.34 / 1.o8	1.54 / 2.00	1.40 / 1.62	1.45 / 1.67	–	–
5	1.20 / 1.11	1.66 / 1.54	–	1.70 / 1.88	1.90 / 2.32	1.85 / 1.75	1.68 / 1.92	–	–
7	1.43 / 1.21	1.66 / 1.46	2.10 / 1.74	1.80 / 1.56	1.74 / 2.15	1.88 / 2.25	2.50 / 2.73	1.06 / o.97	–
9	1.68 / 1.72	1.62 / 1.50	2.15 / 2.45	1.95 / 1.96	2.00 / 1.72	2.23 / 1.07	2.42 / 2.18	1.12 / 0.88	1.62 / 2.20
10	1.60 / 1.32	1.84 / 1.62	2.04 / 1.73	2.06 / 1.89	2.18 / 2.34	–	–	1.36 / 1.32	1.85 / 2.17
12	1.60 / 1.70	2.12 / 2.34	2.80 / 2.65	2.82 / 3.00	3.48 / 3.70	–	–	1.49 / 1.35	2.60 / 2.35
15	–	2.65 / 2.54	–	3.00 / 3.23	–	3.40 / 3.67	4.45 / 4.70	1.58 / 1.85	4.20 / 4.80

Pri izračunavanju težine naslage na površini elementa, prema formuli (1.22), treba obratiti pažnju na koeficijent zahvata (K_o) koji je u formuli i predstavlja odnos izmedju površine elementa pokrivene naslagom i ukupne površine elementa. Ovaj se koeficijent menja u zavisnosti od prečnika elementa. Za elemente koji imaju prečnik do jednog metra K_o=0.6, a preko jednog metra sve do pet metara, K_o=0.2.

Na sl. 1.52. je grafički prikazan odnos izmedju koeficijenata za preračunavanje za verovatnoću normativne debljine zida naslage ($\mathcal{H}_b$) i za verovatnoću normativne težine naslage ($\mathcal{H}_G$); za normativnu debljinu zida b_N=20, 10, 5 i 3.



Sl. 1.52. Odnos koeficijenta $\mathcal{H}_b$ i $\mathcal{H}_G$, (Zavarina, 1976)

1.3.5 Izračunavanje dodatnog opterećenja za elemente gradjevinskih objekata i konstrukcija koji imaju različite oblike i dimenzije nego žice uredjaja

Izmedju elemenata gradjevinskih objekata i konstrukcija i žica na uredjaju za osmatranje i merenje zaledjivanja mogu biti velike razlike u obliku i dimenzijama. Zbog toga se za potrebe projektovanja dodatno opterećenje računa prema formuli (1.22) ili se izmerene dimenzije na uredjaju prethodno preračunaju za odgovarajući oblik i dimenziju elemenata. Elementi mogu imati oblike štapa, valjka, diska, kvadra itd.

Preračunavanje se vrši pomoću koeficijenta za popravku zbog različitog oblika elementa u odnosu na oblik žice na uredjaju. Razlikujemo, uglavnom, cilindrične i necilindrične oblike elemenata.

Ako bi računali dodatno opterećenje, uzimajući koeficijent za popravku prema formuli (1.29), za elemente koji imaju veće dimenzije od 120 mm vrednosti bi bile uvek veće nego dobijene eksperimentalno pri merenju. Ovo povećanje je uslovljeno uticajem dimenzije i oblika elemenata na efektivno inerciono taloženje naslage duž elementa. Da bi tačnije odredili dodatno opterećenje za ovakve elemente, koji imaju veće dimenzije, uzima se koeficijent za popravku dodatnog opterećenja (K_s) dobijen iz odnosa ukupnog i lokalnog zahvata. Vrednosti ovog koeficijenta računate su za elemente u obliku valjka, lopte, ravne površine i diska. U tablici 1.6 prikazane su vrednosti ovog koeficijenta u zavisnosti od brzine vetra i prečnika elementa.

Tabela 1.6

Koeficijent za popravku (K_s) u zavisnosti od brzine vetra (v) i prečnika (d) za karakteristične oblike elementa (Zavarina, 1976)

d, cm	v, m/s			d, cm	v, m/s		
	8	8-16	16		8	8-16	16
		valjak				disk	
25	1.02	1.78	4.25	25	1.28	6.25	12.46
50	0.18	0.37	1.28	50	0.24	1.87	6.60
100	0.14	0.32	1.03	100	0.09	0.53	3.00
200	0.08	0.26	0.80	200	0.05	0.31	1.65
		ravne površine				lopta	
25	1.82	5.88	16.00	25	0.43	1.45	2.65
50	0.95	2.80	6.70	50	0.08	0.33	0.82
100	0.28	0.67	1.20	100	0.05	0.22	0.58
200	0.06	0.12	0.18	200	0.03	0.12	0.30

Iz tablice je lako videti da je koeficijent za popravku dodatnog opterećenja za sve elemente manji što je veći prečnik elementa i manja brzina vetra.

1.3.6 Izračunavanje dodatnog opterećenja usled dejstva vetra na zaledjeni provodnik dalekovoda

Dodatno opterećenje usled dejstva vetra na zaledjeni provodnik zavisi od brzine vetra i dimenzije nataložene naslage. Sa povećanjem brzine vetra i dimenzija naslage raste dodatno opterećenje usled dejstva vetra.

Dodatno opterećenje usled dejstva vetra na zaledjeni provodnik (Q) računa se prema formuli:

$$Q = C_x q S \qquad (1.30)$$

C_x-aerodinamički koeficijent provodnika; q-pritisak vetra i S-površina uzdužnog preseka zaledjenog provodnika upravna na pravac vetra.

Pritisak vetra (q) se računa prema formuli: $q=V^2/16$, daN/m²; V je brzina vetra, m/s.

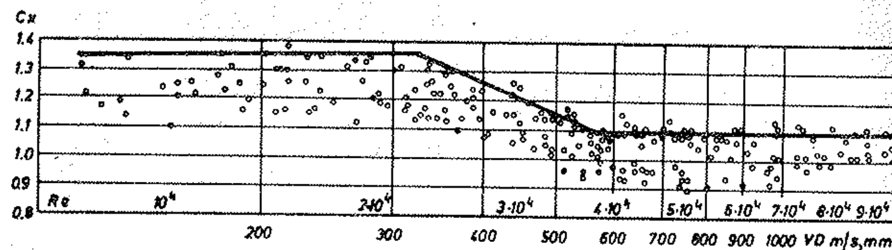
Površina uzdužnog preseka zaledjenog provodnika (S) računa se prema formuli:

$$S = l\sqrt{P \cdot D} \qquad (1.31)$$

P-prečnik zaledjenog provodnika; D-debljina zaledjenog provodnika, a l dužina provodnika.

Aerodinamički koeficijent provodnika (C_x) je funkcija Rejnoldsovog broja (R_e), odnosno, proizvoda brzine vetra (V) i prečnika provodnika (D), pri konstantnom unutrašnjem trenju vazduha (μ).

Na sl. 1.53. prikazana je promena koeficijenta C_x



Sl. 1.53. Promena aerodinamičkog koeficijenta provodnika (C_x) u zavisnosti od Rejnoldsovog broja (R_e) i proizvoda (VD)

zaledjenog provodnika dalekovoda u zavisnosti od Rejnoldsovog broja (R_e) i proizvoda brzine vetra i prečnika provodnika dalekovoda (VD).

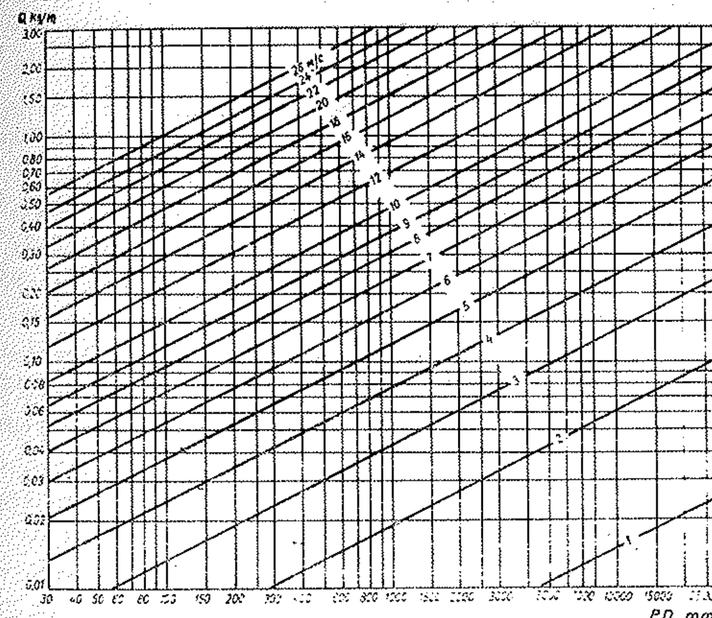
U dijapazonu Rejnoldsovog broja $R_e=(0.15 \div 2)\cdot 10^5$ koeficijent C_x je konstantan, a pri daljem povećanju R_e ovaj naglo opada. Isto tako, za vrednosti proizvoda VD=320, C_x=1.35; za proizvod koji se nalazi u oblasti $320 \leq VD \leq 550$, C_x opada od 1.35 do 1.1, i za svako povećanje vrednosti (VD) sve do 2500, C_x ostaje nepromenjeno.

Ako se za provodnik sa naslagom uzme vrednost aerodinamičkog koeficijenta C_x=1.2, za pritisak vetra odnos V²/16 tada formula (1.30) postaje

$$Q = 0.15\, V^2 \sqrt{P \cdot D} \qquad (1.32)$$

P i D su prečnik i debljina naslage zajedno sa provodnikom, a V je brzina vetra pri taloženju naslage.

Na osnovu formule (1.32) konstruisan je dijagram za odredjivanje dodatnog opterećenja usled dejstva vetra na zaledjeni provodnik (sl. 1.54.)



Sl. 1.54. Dijagram za odredjivanje dodatnog opterećenja usled dejstva vetra na zaledjeni provodnik (Zavarina,1976)

1.3.7 Izračunavanje rezultujućeg dodatnog opterećenja usled istovremenog dejstva vetra i zaledjivanja na provodnik

Ukupno ili rezultujuće dodatno opterećenje provodnika koje nastaje usled istovremenog dejstva vetra i zaledjivanja jeste geometrijski zbir dve komponente: vertikalnog opterećenja koje se javlja zbog težine provodnika i težine nataložene naslage, i horizontalnog opterećenja, koje nastaje dejstvom vetra.

Rezultujuće opterećenje (R) računamo prema formuli:

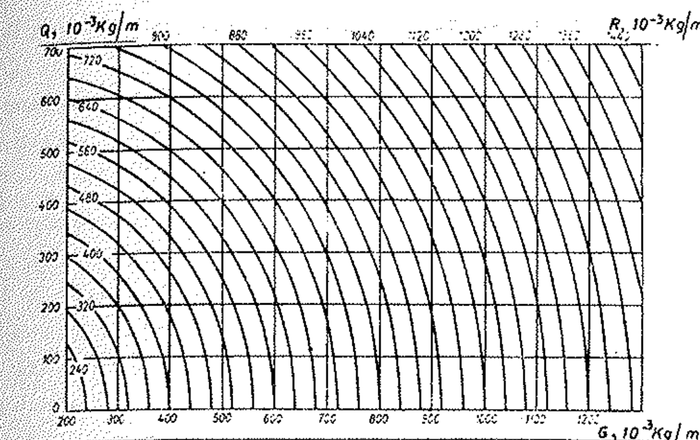
$$R = \sqrt{(G + g)^2 + Q^2} \qquad (1.33)$$

G-opterećenje usled zaledjivanja provodnika; g-težina provodnika i Q-opterećenje usled dejstva vetra na zaledjeni provodnik.

Medjutim, u praktičnoj primeni ovih parametara kod projektovanja dalekovoda, rezultujuće opterećenje se ne odredjuje na ovakav način, već se dodatna opterećenja ove dve komponente odredjuju odvojeno, pa rezultujuća komponenta nije jednaka opterećenju koje nastaje istovremenim dejstvom vetra i zaledjivanja.

Verovatnoću rezultujućeg dodatnog opterećenja, koje nastaje pri istovremenom dejstvu vetra i zaledjivanja kao rezultat sumarnih vrednosti G i Q,nalazimo pomoću godišnjih maksimuma vrednosti za R. Naime, prema verovatnoćama računatih vrednosti za G i Q konstruišemo integralnu krivu raspodele verovatnoće godišnjih maksimuma za R, zatim, u zavisnosti od predvidjenog trajanja i vrste dalekovoda sa integralne krive raspodele očitamo zadane verovatnoće računate maksimalne vrednosti za R, koje se javljaju jednom u 5,10,15,20 ili više godina.

Maksimalno godišnje rezultujuće dodatno opterećenje računamo prema formuli (1.33). U formulu ulaze maksimalno godišnje opterećenje usled zaledjivanja i maksimalno godišnje opterećenje usled vetra u periodu zaledjivanja. Vrednosti R lako nalazimo pomoću dijagrama na osnovu težine naslage (G) u kg/m, i opterećenja vetra na zaledjeni provodnik (Q) u kg/m. Dijagram za očitavanje rezultujućeg dodatnog opterećenja usled istovremenog dejstva vetra i zaledjivanja prikazan je na sl. 1.55.



Sl. 1.55. Dijagram za očitavanje rezultujućeg dodatnog opterećenja (R) usled istovremenog dejstva vetra i zaledjivanja na provodnik dalekovoda (Zavarina,1976)

1.3.8 Izračunavanje dodatnog opterećenja usled zaledjivanja za elemente vrlo visokih gradjevinskih objekata i konstrukcija

Podaci o zaledjivanju na visinama preko 100 m iznad zemljine površine vrlo su retki, a ako i postoje, uglavnom, imaju male nizove osmatranja. Merenje zaledjivanja na ovim visinama je složeno i zahteva posebne napore i velike izdatke pri postavljanju i održavanju instrumenata i pribora. Umesto izgradnje visokih tornjeva namenjenih samo za ove svrhe, koriste se već izgradjeni televizijski tornjevi ili neki drugi visoki objekti.

U nedostatku ovakvih podataka o zaledjivanju, za izračunavanje dodatnog opterećenja na elementima visokih objekata primenjuje se metod indirektnog izračunavanja težine naslage na osnovu aeroloških podataka.

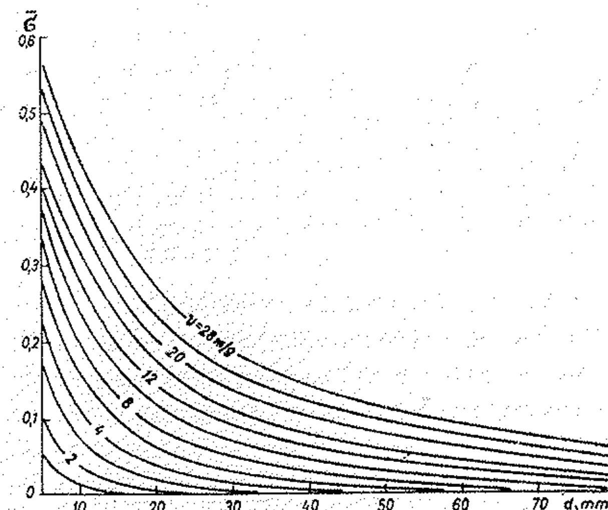
Formula za izračunavanje težine naslage (G) prema aerološkim podacima ima oblik:

$$G = \bar{\delta}\beta \bar{W}\bar{V}\tau d, \quad kg/m \qquad (1.34)$$

$\bar{W}$-srednja vrednost vodnosti magle ili oblaka u periodu rasta

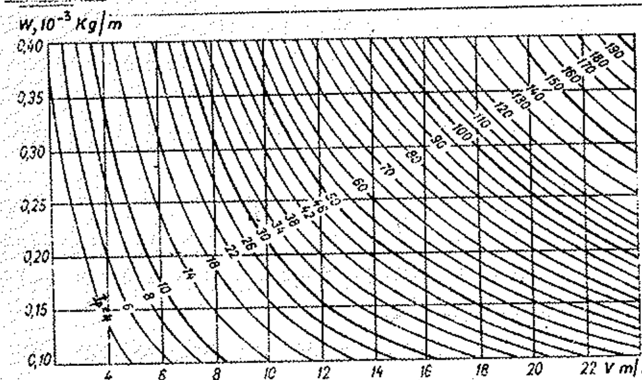
naslage, u kg/m³; $\bar{V}$-srednja brzina vetra, takodje u periodu rasta naslage, u m/s; d-prečnik elementa (provodnika) u m; $\bar{\tau}$ trajanje rasta naslage u cm.

Fizički smisao i načini izračunavanja parametara (β) i ($\bar{\tau}$) su opisani u prethodnom delu. Odnos brzine vetra, prečnika provodnika i parametra $\bar{\tau}$ prikazan je na sl. 1.56.



Sl.1.56 Odnos parametra ($\bar{\tau}$) i prečnika provodnika pri različitoj brzini vetra (Zavarina,1976).

Imajući podatke o brzini vetra, vodnosti magle i dimenziji elementa može se izračunati težina naslage. Radi lakšeg izračunavanja dodatnog opterećenja za elemente koji imaju oblik provodnika i prečnik 10 mm izradjen je dijagram za očitavanje težine naslage koja se natalooži u vremenu od jednog časa pri različitim brzinama vetra (sl. 1.57.). Dijagrm je dobijen iz odnosa: $G=I_p/\bar{\tau}$.



Sl. 1.57.Dijagrm za očitavanje težine naslage u zavisnosti od vodnosti magle (W), brzine vetra (V) i parametra (I_p), Zavarina 1976.

1.4 <u>Merenje zaledjivanja i istovremenog dejstva vetra i zaledjivanja na ogledno istraživačkim stanicama</u>

Podaci o zaledjivanju, izmereni na glavnim ili specijalnim meteorološkim stanicama, ili mernim punktovima, ne mogu se neposredno upotrebiti za proračun dodatnog opterećenja različitih i brojnih elemenata gradjevinskih objekata i konstrukcija, ne samo zbog različitog oblika i dimenzije, već i visine iznad zemljine površine, zatim, uticaja električnog polja (kao kod provodnika dalekovoda), mehaničkih, dinamičkih i sličnih pojava na zaledjivanja elemenata. Zbog toga se postavljaju ogledno-istraživačke stanice na kojima se organizuju specijalna merenja zaledjivanja i proučavaju procesi i pojave koje dovode do pojave zaledjivanja i taloženja vrste i podvrste naslage. Na ovim stanicama posebna pažnja je posvećena istovremenom merenju zaledjivanja na uredjaju za osmatranje i merenje zaledjivanja i na specijalnim rasponima provodnika. S obzirom na konstrukciju uredjaja za merenje zaledjivanja postavljaju se rasponi sa provodnicima na visini 2 m i većim visinama i sa prečnicima 0.5 cm i većim, uglavnom sa prečnicima dalekovoda, jer je elektroprivreda veoma zainteresovana za podatke o uticaju zaledjivanja, vetra i dr. meteoroloških elemenata i pojava na dalekovode. Osim koeficijenta za preračunavanje (K_h) i (K_d), vrše se ispitivanja ekspozicije raspona i njihove zaštićenosti na različitim terenima, ispituju se sile u tačkama učvršćenja provodnika i stubova, kao i otkloni izolatorskih lanaca na nosećim stubovima, a pod uticajem istovremenog dejstva vetra i zaledjivanja. Takodje se prate i registruju mehanički uticaji jednostrukih i višestrukih provodnika na vodove visokih napona, registruju dinamičke pojave koje se javljaju na eksperimentalnim rasponima u momentu taloženja ili nestajanja ledenih naslaga. Vrše se i specijalna ispitivanja provodnika kada su pod naponom pri promeni temperature vazduha, ispituju vibracije, uvijanje i njihanje provodnika, kao i vertikalna i horizontalna rotacija i reakcija stubova pod uticajem zaledjivanja i vetra, itd.

Ogledno istraživačke stanice se postavljaju u fizičko

geografskim područjima koja se odlikuju velikom čestinom javljanja zaledjivanja sa intenzivnim naslagama poledice, zrnastog inja i složenih ledenih naslaga.

1.4.1 Instrumenti i oprema na ogledno istraživačkoj stanici

Eksperimentalni rasponi. Na ogledno-istraživačkoj stanici postavljaju se tzv. eksperimentalni rasponi koji se sastoje od provodnika sa prečnicima istih dimenzija, kao i na uredjaju za merenje zaledjivanja, ili sa karakterističnim prečnicima dalekovodnih provodnika. Provodnici se nalaze na različitim visinama. Rasponi se postavljaju na karakterističnim mestima, ali je ekspozicija tako izabrana da su potpuno izloženi preovladjujućem strujanju u periodu zaledjivanja.

Veličina i broj raspona zavise od konfiguracije terena stanice. Svaki raspon čine jednostruki ili všestruki provodnici sa nezavisnim sistemom za merenje dodatnog opterećenja i napajanjem električnom energijom.

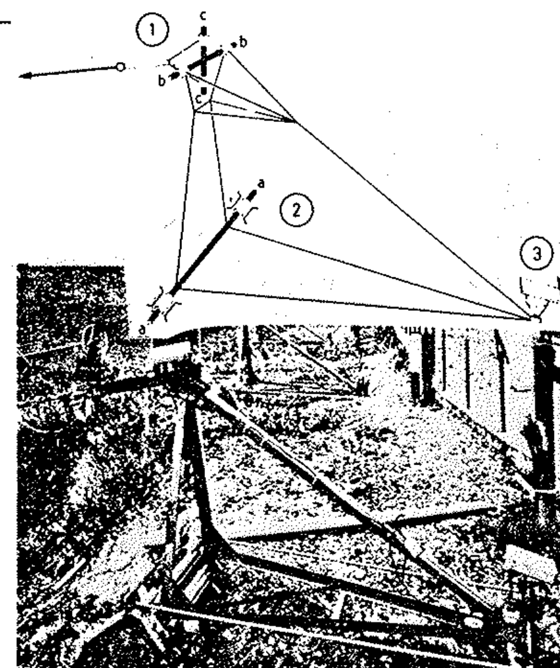
Osim eksperimentalnih raspona koji se napajaju električnom energijom, postavljaju se rasponi bez napona na kojima se vrše ispitivanja vrste zaledjivanja i merenja prečnika, debljine i težine natoloženih naslaga. Takodje se ispituju i nejednake raspodele težine naslage duž eksperimentalnog voda. Zbog ovoga se na stubovima ovih raspona postavljaju platforme za merenje zaledjivanja i ugradjuju prijemnici meteoroloških instrumenata.

Na sl. 1.58. je deo eksperimentalnog raspona sa sistemom zatege za učvršćenje provodnika, koji je postavljen na ogledno-istraživačkoj stanici u Splugu, u Italiji. Raspon je učvršćen u zglobu (3), a preko osovine a-a. Pomoću dinamometra se mere komponente zatezanja provodnika u pravcu eksperimentalnog voda. Pravac i smer reakcije stuba se odredjuje na osnovu relativne rotacije u osovinama b-b i c-c.

Raspored instrumenata i uredjaja je takav da se pomoću dinamometra i detektora sa potenciometrom i diferencijalnim transformatorom mogu meriti istovremeno otkloni izolatorskih lanaca, sile koje dejstvuju na oslonce stubova i ugibi, kao i meteorološki elementi.

Sličan sistem je primenjen i na ogledno istraživačkoj stanici Vada, koja se nalazi na obali Tirenskog mora u Italiji, a prikazan je na sl. 1.59.

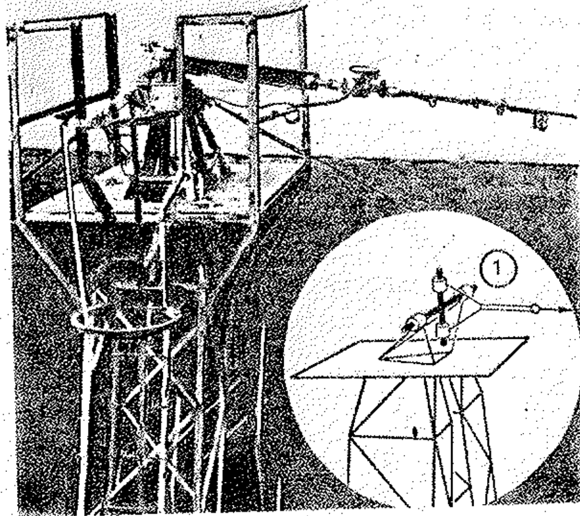
Na sl.1.60. je šematski prikaz rasporeda instrumenata i uredjaja za merenje sila koje se javljaju na eksperimentalnom rasponu i stubu usled dejstva vetra i zaledjivanja. Ovaj eksperimentalni raspon postavljen je na ogledno-istraživačkoj stanici u Berisi (Berric) u Francuskoj.



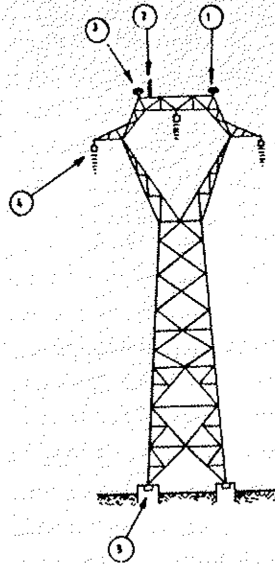
Sl. 1.58. Deo eksperimentalnog voda na ogledno-istraživačkoj stanici u Splugu, u severnoj Italiji, i šema sistema učvršćenja provodnika

Dinamografi sa mehaničkim i električnim uredjajima

Kontinuirana merenja zaledjivanja, koja se vrše pomoću registrirnih instrumenata, daju najpotpuniju sliku o zaledjivanju, o neprekidnim promenama težine natoložene naslage ili dodatnom opterećenju usled istovremenog dejstva vetra i zaledjivanja. Jedan od ovakvih registrirnih instrumenata je dinamograf, koji se sastoji od dinamometra u vidu jake čelične opruge stavljene u čeličnu oblogu i učvršćenu u tački vešanja provodnika.



Sl.1.59. Sistem učvršćenja provodnika na ogledno-istraživačkoj stanici Vada na obali Tirenskog mora u Italiji

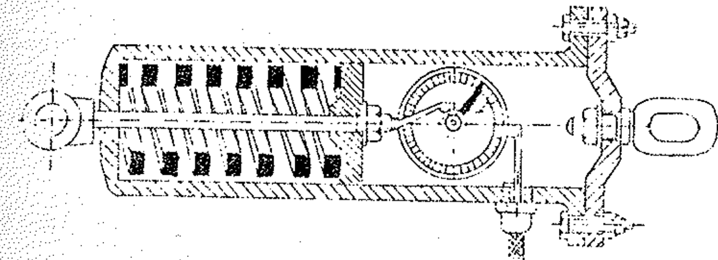


Sl. 1.60. Šema postavljanja instrumenata i uredjaja za merenje sila koje se javljaju usled dejstva vetra i zaledjivanja na kojoj su 1 i 2 anemografi;3-anemometar 4-dinamometar za merenje otklona centralnog i ostalih izolatorskih lanaca;5-detektor sa potenciometrom i diferencijalnim transformatorom za merenje ugiba dejstva sile na oslonce stuba.

Težina zaledjenog provodnika ili pritisak nastao istovremeno dejstvom vetra i zaledjivanja prenosi se na jednu pomičnu polugu koja prisiljava oprugu da se skupi. Promene opterećenja dinamograf meri na osnovu razlike u stezanju opruge, koje se mehaničkim putem prenose na registrator. Ovaj se može ugraditi na samom dinamografu ili u podnožju stuba, ali se takodje može smestiti i u pogodnu prostoriju radi redovnog

očitavanja vrednosti dodatnog opterećenja.

Kod dinamografa sa električnim uredjajem vrednosti dodatnog opterećenja se prenose od opruge na variometar, dalje električnim putem na registrator. Na sl. 1.61. prikazana je šema ovakvog dinamografa. Električni prenos veličine dodatnog opterećenja omogućuje da se registrator praktično može postaviti na bilo koju udaljenost od ugradnje dinamografa.



Sl. 1.61. Dinamometar sa električnim prenosom

Ako se dinamometar ugradi na mestu napajanja provodnika tada se meri sila naprezanja. Inače, kad se dinamometar ugradjuje na vod visokog napona ovaj se stavlja izmedju otklonskog izolatorskog lanca i konzole stuba, a kod ugradnje u merni raspon, provodnik se napinje direktno na dinamometar. Kod ovakvog načina ugradnje dinamometra meri se ukupno naprezanje provodnika koji se menja pri promeni temperature i razlike u težini ledenih naslaga ili razlike u pritisku vetra na provodnik. Kada se eliminiše temperatura, dinamograf meri naprezanje provodnika nastalo dodatnim opterećenjem usled zaledjivanja i vetra, a računskim putem, odredjujemo samo dodatno opterećenje usled zaledjivanja.

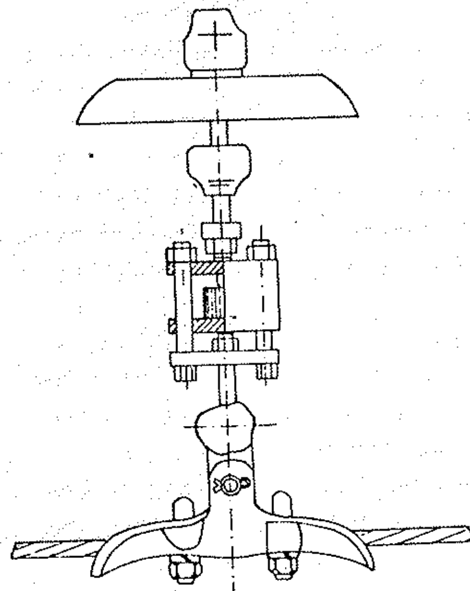
Da bi se izdvojilo dodatno opterećenje nastalo na dinamografu usled zaledjivanja ili samo usled vetra, potrebno je, kao i kod merenja temperature, sistematski i neprekidno beležiti podatke o vetru pomoću anemografa.

Jednostavni uredjaji pomoću kojih bi se neprekidno beležile veličine prečnika i debljine natаložene naslage, za sada ne postoje, osim predloga o konstruisanju uredjaja sa fotoćelijom. Za praktične potrebe na ogledno-istraživačkim stanicama prečnik i debljina se mere neposredno razmernikom,a na nekim je u upotrebi daljinomer.

Merenje dinamografom pruža, bez ikakvih daljih računskih operacija, merodavnije podatke za odredjivanje naprezanja provodnika. Za ispravno dimenzioniranje stubova i konzola treba ipak razdvojiti vertikalne sile, izazvane težinom zaledjenih provodnika od horizontalnih sila, koje nastaju dejstvom vetra na zaledjene provodnike.

Drugi način ugradnje dinamometra je na mestu koje je iza visećih izolatorskih lanaca i to vešanjem na provodnik na polovini mernog raspona. Ovakvim načinom ugradnje neposredno se meri težina provodnika i ledene naslage na polovini raspona. Temperaturne promene praktično ne utiču na merenja, ali se beleže radi daljih proučavanja procesa mehanizma zaledjivanja provodnika.

Nasbergov uredjaj. Maksimalne težine ledenih naslaga, koje se stvaraju na provodnicima dalekovoda pod naponom, mogu se odredjivati neposrednim merenjem pomoću Nasbergovog uredjaja. Ovaj je uredjaj tako konstruisan da beleži otisak kuglice na čeličnoj podlozi, a montira se na dalekovodu kao članak nosećeg izolatorskog lanca (sl. 1.62.).



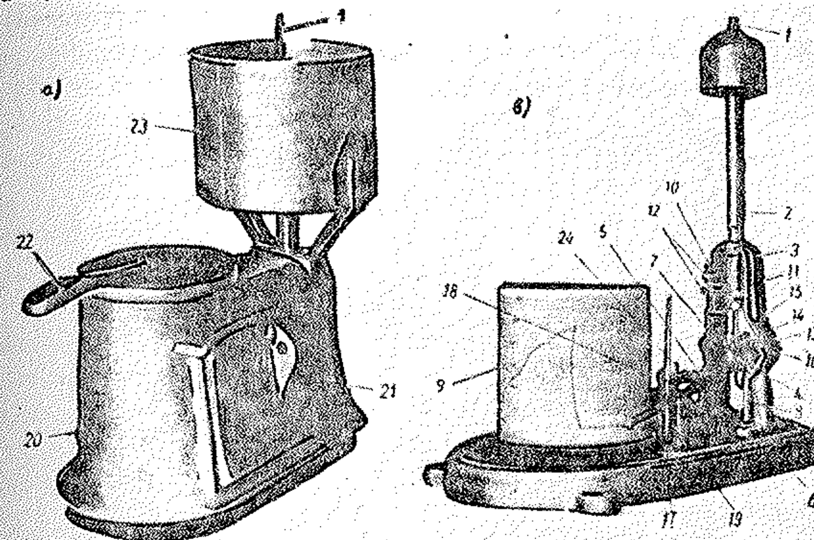
Sl. 1.62. Nasebergov uredjaj

Iz veličine otisaka se odredjuje maksimalno opterećenje koje je delovalo na provodnik. Ovaj aparat se može masovno koristiti na dalekovodima visokog napona pri čemu se očitavanja vrše nakon njihovog skidanja, u proleće, pod uslovom da na dalekovodu nisu vršena odledjivanja putem zagrevanja provodnika.

Za raspone koji se napajaju električnom energijom sa srednjim naponom konstruiše se sličan uredjaj koji je podesan za montažu na kalemljene izolatore. Umesto čeličnih valjaka upotrebljavaju se mekši -mesingani, kako bi

odredjivanje otisaka bilo pouzdanije.

Ledograf Bučinskog. Ovaj registrirni merni instrument služi da se odrede vrste, oblik, prečnik, težina i intenzitet natložene naslage. Ledograf Bučinskog se sastoji iz prijemnika, prenosnog i registrirajućeg mehanizma, postolja i zaštitne kutije (sl. 1.63.).



Sl. 1.63. Ledograf Bučinskog; a-spoljni i b-unutrašnji izgled uredjaja

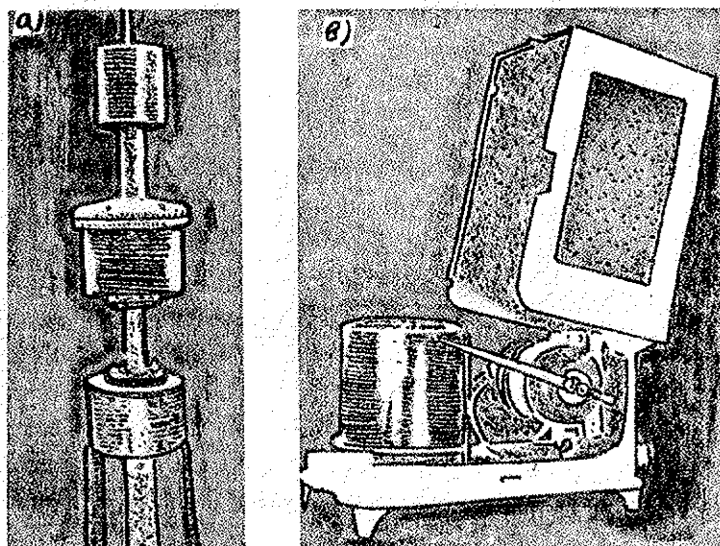
Prijemnik se sastoji iz vertikalne osovine (1) prečnika 5 mm i dužine 250 mm, čiji je donji kraj zavrnut u podupirač (4), kome se vrh oslanja na nosač prenosnog mehanizma (5).

Prenosni mehanizam se sastoji iz sistema poluga sa dinamometarskom oprugom (7), perom (8) i valjkom sa stalnim mehanizmom i jednodnevnim ledogramom (9). Prigušujući uredjaj (19) sa vertikalno pomerajućim klipom u cilindru sa glicerinom, ublažava udare vetra, kao i zaštitnik donjeg dela prijemnika (23).

Ledograf radi na principu merenja težine naslage pomoću opruge, registrujući u toku vremena na ledogramu sve promene izražene u gramovima, od 5 do 300 grama. Postavlja se u meteorološkom krugu stanice na posebnom stubu, tako da je gornji deo prijemnika na visini 2.2 m dok se težina naslage registruje u gramima na ledogramu.

Električni distrancioni ledograf Suražskog. Princip rada ovog instrumenta je zasnovan na merenju težine ledenih naslaga električnim putem, pomoću beskontaktnog, elektromagnetno-sinhrozizovanog selsin uredjaja velike tačnosti.

Prijemni deo ovog mernog instrumenta (sl. 1.64,a) na kome se talože naslage sastoji se od vertikalne šipke, čiji je prečnik 5 mm, a dužina 250 mm. Ova šipka je čvrsto spojena sa osovinom, koja je u vezi sa dva krajnja mesta sastavljena iz šest radialno rasporedjenih kugličnih ležaja.



Sl. 1.64. Električni distancioni ledograf Suražskog; a-prijemnik i b-registrator

Usled težine nataložene naslage na vertikalnom prijemniku, osovina u svom donjem delu, vrši pritisak na jednu polugu i pomera osu rotora selsin-motora predajnika za odgovarajući ugao. Za isti ugao se pomera i protivteg koji služi da se rotor vrati u početni položaj kada se na vertikalnom smanji težina naslage.

Oko vertikalnog prijemnika postavljen je cilindrični zaštitnik, dok se selsin-motor predajnika nalazi u hermetički zatvorenoj kutiji na kojoj se u donjem delu nalazi ispust za učvršćivanje ledografa na standardni tronožac ili metalni stub različite visine - sve do 200 mm iznad tla, kao i prekidač za

električno napajanje.

Ledogram je postavljen na valjku sa jednodnevnim satnim mehanizmom (sl. 1.64,b). Na registratoru se nalazi pored prekidača električne mreže napajanja i jedan prekidač za električni spoj registratora sa predajnikom.

Električni distancioni ledograf registruje zaledjivanje pri brzinama vetra od 10 m/s, u granicama od 0.01 do 0.5 kg što odgovara težini ledene naslage od 0.04 do 2.0 kg na provodniku dužine jednog metra, uz konstataciju da je, kao i kod ledografa Bučinskog, osetljivost slabija pri manjim težinama naslage.

Ostali ledografi. Radi potpunijeg pregleda instrumentarija koji se koristi na ogledno-istraživačkim stanicama mogu se pomenuti još neki ledografi.

Ledograf V.V.Burgsdorfa (postavljen u područjima Kavkaza, Dombasa i Urala) ili prijemnik koji se sastoji od visokonaponskih provodnika dužine 200-300 m, povezanih sa dinamometarskom oprugom, koja je u vezi sa prenosnom polugom i registrirnim delom uredjaja. Zbog velikih dimenzija ovaj ledograf se nije koristio na meteorološkim stanicama.

M.Končak je konstruisao uredjaj, koji je nazvao geliograf, a pomoću kojeg registruje na dijagram težinu ledene naslage koja se natložila na vertikalno postavljenoj gvozdenoj cevi prečnika 54 mm dužine 40 cm.

L.Miška u svom radu (CIGRÉ, No 2o7, 1954) iznosi nešto više o merenjima zaledjivanja J.K. Grigstada, koja su organizovana u Norveškoj, a na dva gvozdena štapa prečnika 27mm, kao i o merenjima H.Kohlera u Laponiji sa dve kugle prečnika 10 i 20 cm, i J.Ringa u Krkonošama sa dve okomite gvozdene ploče površine 2ox2o cm.

1.4.1.1 Laboratorijska merenja i ispitivanja zaledjivanja provodnika

Da bi se detaljnije proučilo zaledjivanje i ispitali uticaji naslage na provodnike i elemente gradjevinskih objekata i konstrukcija, na ogledno-istraživačkim stanicama se sprovode i laboratorijska merenja i ispitivanja zaledjivanja provodnika. U programima rada ovakvih laboratorija obuhvaćena su

vrlo specifična i brojna merenja i ispitivanja zaledjivanja.

Izmedju ostalih, jedan od osnovnih zadataka laboratorijskih merenja i ispitivanja je da se utvrdi morfološka klasifikacija vrste i podvrste zaledjivanja. Zbog toga se detaljno beleži, opisuje i fotografiše svaka natanožena naslaga. Ispituju se njena mikroskopska struktura. Uporedno se mere i osmatraju meteorološki elementi i pojave koje prate taloženja naslage, naročito količinu i veličinu kapljica magle, rosulje i druge pojave pri kojoj se nataložila naslaga.

Laboratorijska ispitivanja pružaju podatke i o promenama gustine svake vrste naslage, a u zavisnosti od meteoroloških i fizičko-geografskih uslova, kao što su temperatura i vlažnost vazduha, vodnost magle ili oblaka, pravca i brzine vetra nadmorske visine i dr.

Na osnovu laboratorijskih istraživanja i proučavanja na ogledno-istraživačkoj stanici u Debaljcevu B.J. Bučinski (1955, 1966.) je izradio atlas zaledjivanja provodnika, koji predstavlja dragocen materijal za praktičnu primenu pri merenju zaledjivanja. Na srpskohrvatski je preveo M.DJ.Radošević,1965. a izdao RHMZ SR Srbije.

Osim ispitivanja obrazovanja i mikrostrukture vrste i podvrste naslage, laboratorijska istraživanja detalno ispituju uticaje zaledjivanja na promenu jačine struje u provodniku, kada je raspon pod naponom, a takodje i obrnuto, uticaj električnog polja provodnika na obrazovanje rasta i opadanje naslage

1.5 Propisi o dodatnom opterećenju usled zaledjivanja

Pri proračunu provodnika i zaštitne užadi predpostavlja se da se na ovima talože naslage i stvara dodatno opterećenje usled zaledjivanja. Smatra se da dodatno opterećenje dejstvuje vertikalno naniže, pa se dodaje težina provodnika, odnosno zaštitnog užeta.

Prema Zakonu o tehničkim merama (Sl.list SFRJ,br.12/65 i 55/69), a u članu 6 propisan je Pravilnik o tehničkim merema za izradu nadzemnih elektroenergetskih vodova (Sl.list SFRJ br. 51/73). Prema ovom, za normalno dodatno opterećenje usled zaledjivanja uzima se najveće dodatno opterećenje koje se na

odnosnom mestu pojavljuje "prosečno svakih 5 godina", ali u slučaju ne manje od

$$g = 0.18 \sqrt{d}, \text{ daN/m} \qquad (1.35)$$

gde je d -prečnik provodnika, odnosno zaštitnog užeta u milimetrima.

Za ocenjivanje dodatnog opterećenja sa kojim će se računati vod služe podaci prkupljeni od hidrometeorološke službe, iskustva na postojećim nadzemnim vodovima i telekomunikacionim linijama duž projektovane trase, obaveštenja meštana, oštećenja na drveću i slično. Po pravilu, treba računati sa sledećim vrednostima za normalno dodatno opterećenje: 1.0 x g, 1.6 x g, 2.5 x g i 4.0 x g.

Za izračunato dodatno opterećenje uzima se najveće dodatno opterećenje koje se na odnosnom mestu pojavljuje "prosečno" svakih 20 godina, ali u svakom slučaju ne manje od dvostruke težine normalnog dodatnog opterećenja ($0.18\sqrt{d}$).

Reč "prosečno" u Pravilniku koja se odnosi na vremensko javljanje najvećeg dodatnog opterećenja izgleda nije najpogodnije izabrana s obzirom da se radi o maksimalnom dodatnom opterećenju koje se javlja jednom u 5 ili 20 godina.

Za izračunavanje dodatnog opterećenja žice antenskih opterećenja specifične težine $\gamma_{\check{z}}$ (daN/mm² . m) stvarnog preseka S (mm²) i nazivnog prečnika d (mm) dobija se iz obrasca:

$$g_{\check{z}} = \gamma_{\check{z}} + \frac{0.18\sqrt{d}}{S}, \text{ daN/mm}^2 \cdot \text{m} \qquad (1.36)$$

Specifične težine $\gamma_{\check{z}}$ date su u sledećoj tablici:

	BAKAR		BRONZA		ČELIK		ALUMINIJUM	
	40	50	60	70	40	70	120	150
$\gamma_{\check{z}}$ (10^{-3} daN/mm²)	8.9	8.9	8.65	8.65	7.8	7.8	7.8	2.7

Za dodatno opterećenje žica antenskih opterećenja vrede i odredbe Tehničkih propisa za gradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova.

1.6 Primeri meteoroloških analiza havarija u SR Srbiji

Na teritoriji SR Srbije često se dešavaju havarije gradjevinskih objekata i konstrukcija, a u prvom redu nadzemnih vodova, usled zaledjivanja. Da bi se detaljnije ispitali svi uzroci ovakvih havarija meteorološka služba daje kompleksne meteorološke izveštaje. Radi primera, kako izgledaju ovakvi izveštaji odabrane su dve velike havarije - jedna usled taloženja ledenih naslaga i istovremenog dejstva vetra, i druga usled naslaga mokrog snega.

Prva se dogodila u Istočnoj Srbiji 17.februara 1979. godine i smatra se jednom od najvećih havarija usled zaledjivanja u SFRJ, kako zbog štete na elektroprenosnim vodovima, PTT linijama veze, antenama i dr. gradjevinskim objektima i konstrukcijama, tako i na šumskim kompleksima, voćnjacima i dr. rastinju.

Vrlo velike dimenzije nataloženih naslaga leda i istovremeno dejstvo vetra stvorili su prekomerna dodatna opterećenja, koja se ne pamte u ovim krajevima, osim na malom broju poznatih planinskih prevoja Homolja, gde je slična pojava češta, ali manjih dimenzija.

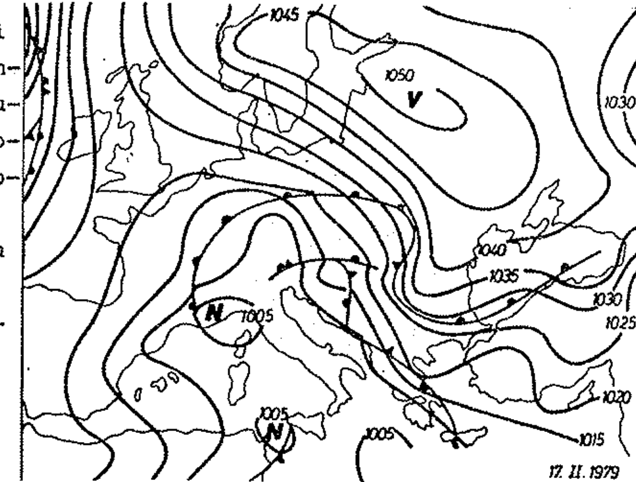
Analiza havarija konstrukcija obuhvatila je analizu sinoptičkih i aeroloških uslova pri kojima su se taložile naslage, analizu podataka prizemnih osmatranja sa najbližih meteoroloških stanica, kao i prikupljenih podataka terenskih ispitivanja izvršenih odmah posle havarije. Takodje su obradjeni podaci višegodišnjih osmatranja i merenja zaledjivanja kako bi se našla verovatnoća javljanja maksimalne težine naslage.

1.6.1 Opšta sinoptička situacija i aerološki dijagram

Prateći razvoj sinoptičke situacije od 15. do 18.februara bilo je zapaženo zadržavanje polja visokog vazdušnog pritiska iznad oblasti Baltika i većeg dela istočne i srednje Evrope. Centar ovog dinamičkog anticiklona postepeno se premeštao iz oblasti Baltičkog mora ka jugoistoku, i odatle u bla-

gom luku na severoistok, gde se zadržao u severozapadnom delu SSSR-a. Usled ovoga, dolazi do prodora hladnog vazduha iz Ukrajine i oblasti Crnog mora na Balkansko poluostrvo, i povećanje vazdušnog pritiska iznad ovih oblasti (sl. 1.65).

Istovremeno dolazi i do prodora vlažnog i hladnog vazduha u zapadno Sredozemlje, i do razvoja ciklona kako u prizemlju tako i u višim slojevima. Ovaj ciklon sa frontalnim sistemom premeštao se postepeno na istok i 17.februara bitno uticao na vreme u Jugoslaviji, a naročito u njenom istočnom delu gde se dogodila havarija.



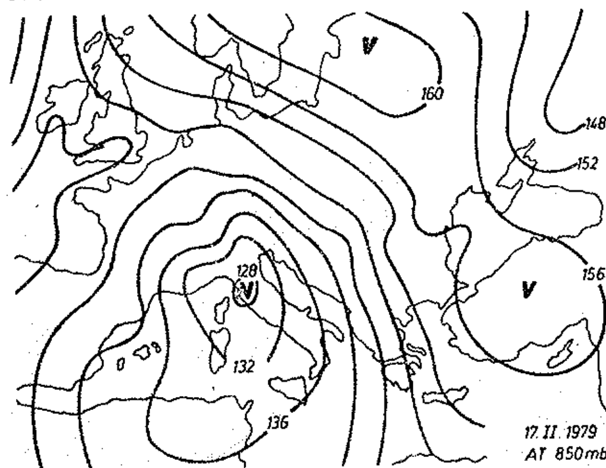
Sl.1.65. Prizemna sinoptička karta

Pri ovakvoj sinoptičkoj situaciji sa dinamičkim anticiklonom u istočnoj Evropi i razvojem ciklona u zapadnom Sredozemlju dolazi do jačanja baričkog gradijenta u oblastima Karpata, a posebno u Istočnoj Srbiji. Ovo je karakteristična sinoptička situacija kada se u delu Balkanskog poluostrva, u područjima reka Dunava i Morave, i većem delu Vojvodine, javlja poznati vetar "košava".

U višim slojevima atmosfere iznad Evropskog kontinenta postojao je karakterističan raspored polja pritiska. Na nivou AT 850 mbara iznad zapadnog Sredozemlja postojala je zatvorena ciklonska cirkulacija sa centrom ciklona iznad Djenovskog zaliva. U isto vreme iznad Jadranskog mora, Balkanskog poluostrva i Panonske nizije preovladjuje jako južno visinsko strujanje koje uslovljava širenje toplog vazduha poreklom iz severne Afrike (sl. 1.66).

Prodor hladnog vazduha preko teritorije SSSR-a u pravcu Karpata i Crnog mora i zadržavanje anticiklona iznad Baltika i istočne Evrope, uslovili su osetan pad temperature u

u istočnom delu Jugoslavije za 5 do 10°C, a u brdsko planinskim krajevima i znatno više, sa povremenim padanjem kiše, ledene kiše ili snega.



Sl. 1.66. Visinska karta AT 850 mbara

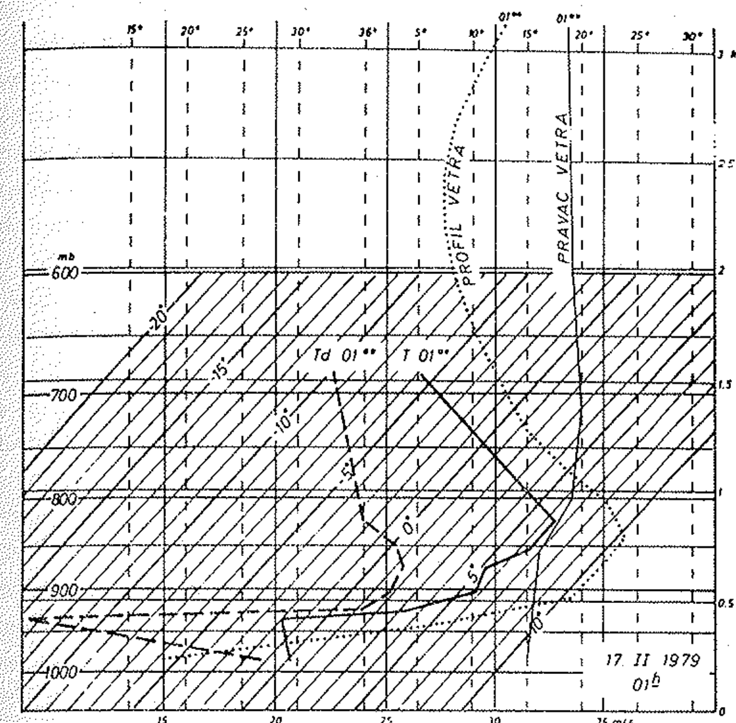
Udari vetra "košave" dostizali su olujne brzine, od 7 do 110 km/h a u ravničarskim krajevima severnije od mesta havarije, čak i do 160km/h. Ovo su bili i najjači udari vetra u toku poslednje decenije.

U područjima gde su se dogodile havarije postojali su istovremeno jaki udari vetra, pri temperaturi oko 0°C, kao i naizmenična javljanja ledene kiše, kiše i snega. Dakle, veoma povoljni uslovi za taloženje ledenih naslaga i na svim nadzemnih konstrukcijama.

Prema podacima radiosondažnih merenja jak jugoistočni vetar Košava, duvao je u relativno plitkom sloju do visine 900 mnm (sl.1.67), dok je iznad ovog sloja preovladjivalo jako južno i jugozapadno strujanje. Zbog prodora hladnog vazduha u plitkom sloju i smicanja vetra (dinamička turbulencija), pri temperaturi oko 0°C, dolazi do stvaranja jake visinske inverzije debljine oko 300 m, sa bazom na visini 650 m iznad zemljine površine. Vertikalni gradijent temperature (γ=2.6 °C/100m). Ovakav raspored temperature i dovoljne vlažnosti vazduha u višim slojevima ukazuju da pri košavi u zimskom periodu postoje povoljni uslovi za pojavu ledene kiše.

1.6.2 Podaci prizemnih meteoroloških osmatranja

U širem području havarisanih konstrukcija nalaze se više meteoroloških stanica ali različitih vrsta (glavnih, klimatoloških, padavinskih i dr.) koje pokazuju sledeće promene meteoroloških elemenata i pojava u toku 17. februara.



Sl. 1.68. Vertikalna raspodela temperature (T) tačka rose (Td), pravca i brzine vetra

Djerdap: U toku dana je padala kiša, pa zrnast sneg i zatim sneg sa istočnim vetrom, brzine 11 do 14 m/s. Maksimum brzine vetra 19 m/s zabeležen u 16 čas. Temperatura je opala od 6°C u 01 čas do -1.7°C u 15 čas, a posle toga porasla do -0.4°C. Tlo pokriveno snegom.

Tekija: Oblačno sa ledenom kišom, kišom i susnežicom. Temperatura u toku dana oko 0°C do -2.8°C. Vetar severni oko 19 m/s. Poledica na nadzemnim predmetima.

Brza Palanka: Oblačno sa snegom. Temperatura u padu, ali izmedju -1.0° do -1.8°C.

Donji Milanovac: Oblačno sa snegom i susnežicom. Temperatura oko -2.0°C.

Negotin: Oblačno sa padavinama u toku celog dana. Sneg od ponoći do 0030 čas, a zatim ledena sipeća kiša sve do

0845 pa zrnast sneg do 10 čas, a posle ovoga sneg do 153o čas. Ponovo se javlja ledena kiša koja neprekidno pada do kraja dana. Vetar iz istočnog pravca, promenljive brzine od 14.6 m/s zabeležene u 01 čas do 6.8 m/s zabeležene u 15 čas, ali se zatim ponovo pojačava do 10 m/s krajem dana. Na tlu zabeležen snežni pokrivač, a preko njega sloj poledice, kao i na svim nadzemnim predmetima. Temperatura vazduha menjala se od -0.4° do -3.1°C.

Zaječar:U toku noći sipeća kiša. Na tlu poledica.Od 0855 čas sneg; vetar severoistočni oko 15 m/s. Temperatura od -0.5 do - 4,1°C.

Minićevo: Oblačno bez padavina. Vetar istočni i severoistočni, brzine od 8-14 m/s. Temperatura vazduha od 2.0 do -3.0°C.

Crni Vrh : Na ovoj jedinoj planinskoj stanici (860mnm) u toku dana temperatura opada od -5.4° u 01 čas do -9.0° u 12 čas, a u popodnevnim časovima zadržava vrednost od oko -7.4°C. Vetar veoma jak, neprekidno duva iz istočnog pravca menjajući brzinu od 25 do 28 m/s. Zaledjivanje nadzemnih predmeta je vrlo intenzivno, velike naslage zrnastog inja. Na početku dana sipeća ledena kiša a u popodnevnim časovima sneg i snežna mećava (od 15 do 24oo čas).

Podaci prizemnih osmatranja meteoroloških stanica koje su najbliže području havarija konstrukcija uglavnom ukazuju na pojavu ledene kiše koja je trajala više dana, ali se povremeno javljao sneg ili susnežica. Temperatura vazduha se menjala oko 0°C, ali ispod nje. Vetar iz istočnog kvadranta brzine oko 15 do 20 m/s. Na nadzemnim predmetima i tlu stanice beleže poledicu.

1.6.3 Podaci o zaledjivanju provodnika i vetra

U vremenu havarija konstrukcija izmerene su sledeće maksimalne težine naslage.

Na meteorološkoj stanici u Djerdapu maksimalna težina naslage bila je 0.5 kg/m. Ova stanica je znatno udaljena od mesta havarije. Na meteorološkoj stanici u Negotinu u toku noći 16. i 17. februara nataložila se naslaga poledice na provodnicima uredjaja usled neprekidnog padanja ledene kiše.

Temperatura vazduha pri poledici je -0.4 do -2.5°C, brzina vetra iz istočnog pravca od 5-7 m/s. Naslaga poledice, podvrste futrolaste, taložila se na svim provodnicima ali su dimenzije bile znatno veće na žicama sever-jug. U toku noći 17.februara poledica se povećala i dostigla sledeće dimenzije i težinu: P (prečnik) = 44mm; D (debljina) = 22; γ(gustina) = 830 kg/m^3, a težina naslage 0.6 kg/m. Pri ovom slučaju zaledjivanja temperatura vazduha je -1.4°C, a brzina vetra 4m/s.

Na meteorološkoj stanici u Zaječaru nisu izmerene veće dimenzije naslage poledice. Maksimalna vrednost na provodniku prečnika 0.5 cm iznosila je 0.5 kg/m. Medjutim, istovremeno na meteorološkoj stanici na Crnom Vrhu (860 mnm) na već nataloženu složenu naslagu poledice i zrnastog inja nataložila se naslaga mokrog snega, koji se smrzao. Ova naslaga se održala i pri brzini vetra od 19.3 m/s. Maksimalne dimenzije na uredjaju iznosile su: prečnik 116 mm, debljina 46, gustina (γ) 430 kg/m^3, težina naslage 1.6 kg/m.

Koristeći se podacima o zaledjivanju izmerenim na ovim stanicama i metodom za proračun težine naslage za razne vrste provodnika dalekovoda i njihove visine dobijene su sledeće vrednosti težina: za DV 110 kV 2.6 kg/m, za DV 380 kV 3.4 kg/m, a za lokalitete oko Negotina i Zaječara. Medjutim, za dalekovode na Crnom Vrhu težine su iznosile oko 3.5 kg/m.

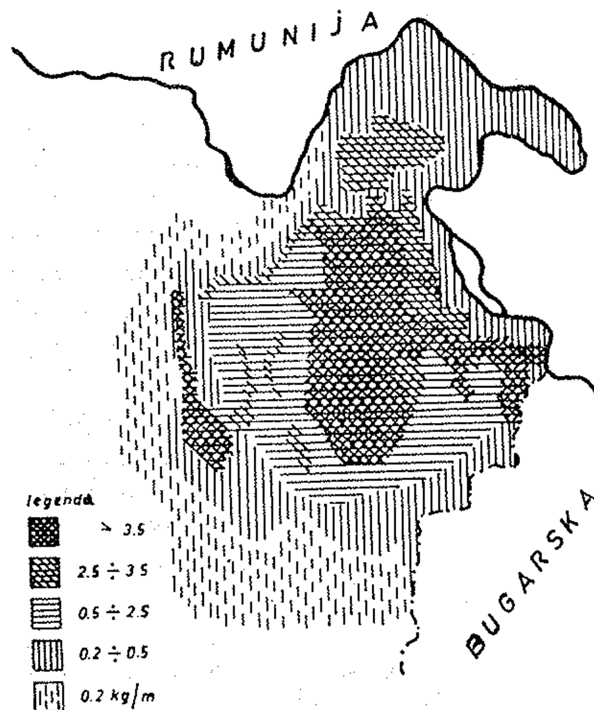
Treba primetiti da su obe stanice na različitim nadmorskim visinama i udaljene od centra havarija oko 20 km.

1.6.4 Terenska ispitivanja i merenja zaledjivanja na mestu havarisanih konstrukcija

Da bi se procenile vrste naslage, njihve dimenzije i težine koje su dovele do havarija raznih konstrukcija i uopšte, nadzemnih predmeta i utvrdila prostorna raspodela zaledjivanja izvršen je obilazak šireg područja Istočne Srbije u toku 20, 21. i 22.februara. Dakle dva dana kasnije pošto se dogodila havarija konstrukcije.

Terenska ispitivanja su pokazala da su se naslage poledice i zrnastog inja taložile u čitavoj oblasti Istočne Srbije. Veće dimenzije opažene su na veoma različitim terenima,

pa je teško bilo uočiti raspodelu u odnosu na fizičko-geografske uslove. Veće dimenzije naslage koje su prouzrokovale štete ili havarije konstrukcija opažene su na području od Dunava do linije Majdanpek-Bor, u dužini oko 45 km, a širini skoro 30 km. Na sl. 1.68. prikazano je šire područje Istočne Srbije koje je bilo pod uticajem maksimalnog zaledjivanja.



Sl. 1.68. Teritorijalna raspodela ledenih naslaga (kg/m) na osnovu terenskih ispitivanja

Na teritoriji havarisanog područja, u okolini Bora,na svim nadzemnim predmetima bila je nataložena naslaga poledice,podvrste ovalne ili futrolaste.Dimenzije oko 20 do 30 mm. Naslaga je bila homogeni sloj tvrdog staklastog leda glatke površine. Taložila se na privetrinskoj strani konstrukcije. Naslage nisu imale veće dimenzije, pa nisu opažene štete. Medjutim, idući prema ograncima planinskog masiva Deli Jovan,na kojima je bilo preovladjujuće istočno strujanje pod velikim uglom opažene su veće dimenzije naslage ovalne poledice koje su pričinile znatne štete drveću i nadzemnim PTT-linijama veza i dalekovoda 35 KV. Naslage poledice velikih dimenzija natalożile se na svim nadzemnim predmetima kako na pomenutim planinskim padinama tako i na terenima ispod 300 mnm. Naročito velike naslage poledice primećene su na razruženim dalekovodima i na drveću duž linije koja se proteže preko planinskih ogranaka normalnih na pravac preovladjujućeg istočnog strujanja na nadmorskoj visini oko 350 do 450 m,terenima

otvorenim i nezaštićenim (Metriš-Brestovac-Trnjani-Karbulovo-Jesenice-Štubik). Drveće je usled težine homogene staklaste naslage poledice poleglo ili se slomilo, stubovi dalekovoda (380, 220 i 110 KV) srušeni su ili teško oštećeni. PTT-linije veze iskidane ili polegle u dužini koje na nekim mestima često prelaze desetine kilometara. Na ovim deonicama izvršena su merenja, dva dana posle havarije.

Prosečne visine provodnika su 10,15 i 20 m iznad tla, a prečnici 1.7, 2.6 i 3.2 cm.

1. Područje Salaša: Na ovom delu terena izmerene su sledeće dimenzije naslage poledice: P=85, D=45, γ=77o, b=24 i G=2.0 kg/m. Preračunate težine za visine i prečnik dalekovoda 380 kV, 220 kV i 110 kV;G=2.8 do 3.7 kg/m. Izmerena težina naslage na jednom elementu konstrukcije dužine 1 m je oko 2.6 kg/m.

2. Područje Sikola.Izmerene dimenzije naslage na elementu dužine 1 m i spuštenim provodnicima: P=137, D=56, b=3.5, γ=770 i G=3.9 kg/m. Preračunate vrednosti za prečnike i visine pomenutih konstrukcija G=5.5 do 6.8 kg/m.

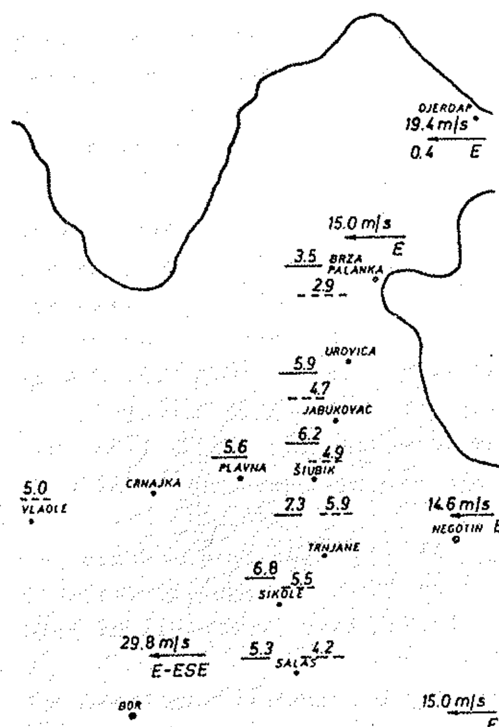
3. Područje Dubrave: Na ovom delu terena dogodile su se najveće havarije. Izmerene su sledeće dimenzije P=130 do 154, D=61, γ=830 i G=3.6 kg/m. Preračunate vrednosti za prečnike i visine konstrukcija: G=4.6 do 7.3 kg/m.

Kod preračunavanja za visinu i prečnik konstrukcije korisščeni su podaci gradijentnih merenja koja se vrše na istraživačkoj stanici na Crnom Vrhu (Plazinić,1971).

4. Područje M.Krša: Planinski tereni na visini oko 700 mnm, gde su se dogodile veoma velike havarije na dalekovodima 110 kV. Ovde su izmerene težine naslage koja se zadržala na elementu stuba dalekovoda: G=4.5 do 6.2 kg/m.

Treba primetiti da je istovremeno sa nataloženom naslagom poledice duvao veoma jak vetar, ali se u zavisnosti od izloženosti konstrukcija, konfiguracije terena, visine i vrste konstrukcije dogodilo oštećenje. Naime, u području M.Krša na deonici koja je bila otvorena prema jakom vetru svi su stubovi bili srušeni na suprotnu stranu i to iz temelja. Na nižim terenima kod dalekovoda 380 i 220 kV nije se mogla uočiti ovakva zavisnost. Medjutim, kod srušenih dalekovoda na najnižim terenima, naročito kod 35 kV stubovi su se lomili na polovini i

okrenuti suprotno od smera vetra. Na sl. 1.69. je raspodela maksimalnih težina ledenih naslaga, pravca i brzine vetra, za 17. februar 1979. godine.



Sl.1.69. Raspodela dodatnog opterećenja na dalekovodima 110 kV(---) i 380 kV(——) kao i pravca i brzine vetra, za 17.2. 1979.

1.6.5 Višegodišnji meteorološki podaci o zaledjivanju izmereni pre havarije

Posebno su ispitani višegodišnji meteorološki podaci o zaledjivanju, kao i terenska ispitivanja, pre nego što se dogodila havarija. Ovakvi podaci činili su meteorološku podlogu za projektovanje i izgradnju konstrukcija na ovom području. Ovakva analiza ukratko se može izložiti:

1. Vazdušna strujanja su pod uticajem planinskih masiva, tako da su preovladjujuća strujanja u toku godine, iz severozapadnog i zapadnog smera fenskog karaktera. Zbog zone zastoja u području oko Dunava i stvaranja jezera hladnog vazduha u toku zime, preovladjujuća strujanja mogu imati i drukčiju raspodelu (iz istočnog, severoistočnog i severnog pravca).

2. Područje od Djerdapa do Bora, koje u širem području Dunava u toku zimskog perioda ima veliku relativnu vlažnost vazduha, pa se uz ostale meteorološke uslove, u pojedinim meteorološkim situacijama obrazuju ledene naslage.

3. Podaci o zaledjivanju provodnika izmereni na meteorološkim stanicama koji su korišćeni pri projektovanju konstrukcija su težine od 0.2 do 0.8 kg/m a za projektovanje pomenutih dalekovoda 1.3 kg/m ali ne ispod 1.0 x$\sqrt{d}$ gde je d-prečnik provodnika dalekovoda u mm.

4. Verovatnoća maksimalnog pritiska vetra računata je na osnovu podataka o vetru sa glavnih meteoroloških stanica, koje nisu imale duže nizove osmatranja. Tako su dobijene vrednosti 60 i 70 daN/m².

5. Mikroklimatska ispitivanja su pokazala da se na terenima u ovom delu SR Srbije nisu mogla opaziti oštećenja ili havarije na okolnim objektima, šumskim kompleksima, rastinju i sl. usled zaledjivanja ili razornog dejstva vetra. Isto tako, prema prikupljenim obaveštenjima od PTT službi koje održavaju linije veze i od preduzeća koja održavaju dalekovode, kao i od stanovništva, za poslednjih dvadeset i više godina nije bilo znatnijih oštećenja usled zaledjivanja i jakog vetra, osim na uočenim planinskim prevojima.

6. U periodu 1968/70. postavljeno je nekoliko dopunskih mernih punktova za merenje zaledjivanja. Tako, na osnovu ovih podataka o merenju zaledjivanja i merenja na meteorološkim stanicama izračunate su maksimalne težine ledenih naslaga za konstrukcije dalekovoda. Ove vrednosti nisu prelazile vrednost 1.0 kg/m.

7. Da bi se utvrdila verovatnoća javljanja zaledjivanja u ovom području obradjeni su podaci o zaledjivanju za potrebe proračunavanja zaledjivanja za period 1964-1978.godine.

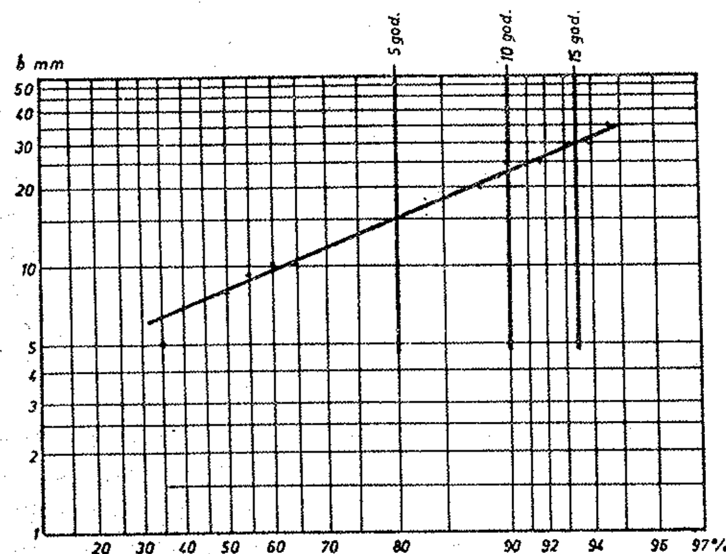
Iz višegodišnjih podataka merenja i ispitivanja zaledjivanja pre havarije moglo se zaključiti da nije bilo osnove za uzimanje velikih dodatnih opterećenja usled ledenih naslaga i vetra.

1.6.6 Verovatnoća javljanja ledenih naslaga

Postavlja se pitanje da li je korektno i ekonomski opravdano da se ubuduće za potrebe projektovanja i izgradnje dalekovoda i dr. konstrukcija uzimaju vrednosti koje su izmerene pri havariji.

Da bi se donekle odgovorilo na ovo pitanje pokušano je da se nadju verovatnoće dodatnih opterećenja usled ledenih naslaga s obzirom da se u poslednje vreme za ove svrhe koriste

metodi teorije verovatnoće. Za statističku obradu korišćen je metod Fišera i Tipita o raspodeli maksimalnih vrednosti. Na sl.1.70. prikazana je verovatnoća raspodele debljine zida ledenih naslaga (b) za Negotin, a tako je uradjeno i za ostale stanice.



Sl. 1.70. Raspodela verovatnoće debljine zida ledene naslage (b) za Negotin

Druga havarija na teritoriji SR Srbije dogodila se 15. i 16. novembra 1981. godine kada su se na nadzemnim predmetima natiložile naslage mokrog snega. Usled težine polomljeni su ili oštećeni brojni stubovi i provodnici dalekovoda, PTT linije, brojni elementi različitih gradjevinskih objekata i konstrukcija, drveće, rastinje i dr. nadzemni predmeti. Da bi se i ovde detaljnije ispitali uzroci havarija dalekovoda i dr. gradjevinskih objekata i konstrukcija, koji su stradali u područjima Valjeva, Kraljeva i Kruševca, dana 15. i 16. novembra 1981. prikupljeni su, obradjeni i analizirani sinoptički podaci o razvoju vremena, aerološki podaci o promenama meteoroloških elemenata sa visinom, podaci radarskih osmatranja o prostornoj raspodeli i intenzitetu parametara oblačnog sistema, i podaci o osmatranju i merenju zaledjivanja provodnika i pratećih meteoroloških elemenata i pojava, a sa glavnih meteoroloških stanica, koje su blizu havarisanim područjima.

1.6.7 Sinoptička situacija i pregled vremenskih uslova

Prodor hladnog i vlažnog vazduha iz severozapadnog pravca u našu zemlju opažen je još 14. novembra. Nakon ovog prodora, koji je zahvatio celu teritoriju SR Srbije u toku ovog dana, razvija se visinski ciklon koji se sporo premešta preko južnih delova Balkanskog poluostrva prema oblastima Crnog Mora.

Ovakva sinoptička situacija uticala je na vreme u našoj zemlji narednih dana, sve do 17. novembra.

U toku 14. novembra na širem području SR Srbije pada kiša. Već sledećeg dana sa prodiranjem hladnijeg vazduha sa severa počinje da pada i sneg zahvatajući sve veća područja SR Srbije. Glavne meteorološke stanice beleže temperaturu vazduha u prizemnom sloju oko nule, ali iznad nje sve do 3°C. Ovakav razvoj vremenske situacije u toku 15. novembra uslovio je padanje mokrog snega i kiše, ali samo u nižim predelima SR Srbije, uglavnom ispod 1000 mnm. U višim je padao sneg izuzev brdovito-planinskih predela Zapadne Srbije, gde je, kao i u višim predelima isključivo padao sneg. Temperatura vazduha u ovim područjima bila je pozitivna, od 0 do 1.0°C. Medjutim, u ostalim područjima SR Srbije susnežica i kiša su padali pri temperaturi koja je u pojedinim mestima dostizala čak i 8°C.

Vrlo jake padavine mokrog snega u toku 15.novembra zahvatile su oblast od Valjeva, preko Divčibara i Rajca, sve do Smed.Palanke, a takodje i područja nešto južnije oko Kraljeva, Kruševca i Kopaonika. Intenzivne snežne padavine osmotrene su i na Zlatiboru, Sjenici i Bajnoj Bašti. Nešto umerenije padavine su u Timočkoj Krajini. Intenzitet padavina se povećavao u toku dana. U večernjim časovima kiša počinje da pada i u Vojvodini. Medjutim, u ovim časovima u brdsko-planinskim predelima Zapadne Srbije mokar sneg još pada nesmanjenim intenzitetom.

Vremenska situacija se nije menjala ni u toku noći 15/16. novembra, jer snežne padavine su intenzivne i neprekidne, pa se formirao i snežni pokrivač.

U toku 16. novembra padavine ne prestaju. Dakle,nema bitnijih promena u odnosu na prethodni dan ni u vremenskoj si-

tuaciji ni u pogledu padavina, sve do podnevnih časova kada postepeno dolazi do smanjenja padavina, a u večernjim časovima i do prestanka padavina, najpre u brdovito-planinskim predelima Zapadne Srbije, a potom i u ostalim delovima SR Srbije. Visina snežnog pokrivača izmerena u 07 čas iznosila je u Loznici 5, Valjevu 19, Kraljevu 32 i Požegi 12 cm. U vremenu od 07 do 10 čas, ovog dana, zone jakih padavina obuhvataju oblast od Krupnja, preko Kragujevca do Dimitrovgrada, i do Ljubovije preko Tare, Bajine Bašte, Zlatibora, Sjenice i Kopaonika, sve do Vranja. Posle 10 čas sneg i dalje pada, ali umerenog intenziteta. Po podne, oko 16 čas sneg prestaje da pada. Medjutim, u područjima oko Valjeva, Kraljeva i Kruševca počinje da pada susnežica. Od 19 čas ponovo počinje sneg, ali sa kraćim prekidima, uglavnom, u višim predelima.

Obilne padavine, temperatura oko nule i bez jakog vetra, veoma su pogodovale da se naslage mokrog snega natalože na nadzemnim predmetima, pa i na provodnicima i stubovima dalekovoda.

Na kraju ove sinoptičke analize treba istaći da je u čitavom ovom periodu postojala izrazita granica izmedju zone sa kišom i snežnim padavinama. Ova granica mogla bi se aproksimativno povući od Šapca, preko Uba,Kragujevca, Kruševca i Niša,sve do Vranja. U zapadnoj zoni su bile vrlo intenzivne padavine mokrog snega, a u istočnoj, uglavnom, ja padala kiša (sl.1.71.).

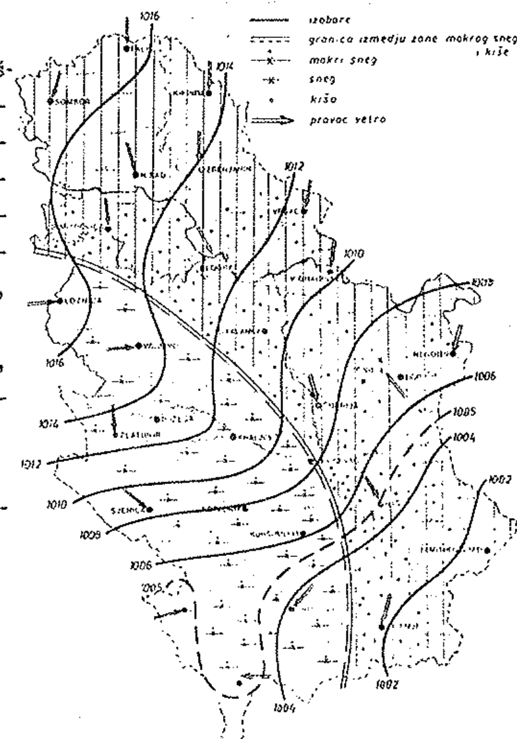
Za intenzivne padavine u brdsko-planinskom području Zapadne Srbije doprinela je opšta vremenska situacija,odnosno, razvoj ciklona u sredozemlju, severna komponenta vazdušnog strujanja u nižim slojevima atmosfere i uticaji orografije u Zapadnoj Srbiji i Šumadiji, posebno uticaji privetrinskih strana brdsko-planinskih područja koje se pružaju nomralno na pravac strujanja.

Zbog položaja ciklona Zapadna Srbija je bila pod uticajem hladnije vazdušne mase koja je uslovila snežne padavine; iznad istočnih oblasti pretežno je padala kiša.

1.6.8 Aerološki podaci

Pošto se merenja viših slojeva atmosfere sistematski sprovode na Aerološkoj opservatoriji u Beogradu korišćeni su sondažni podaci za 15. i 16.novembar,a za termine 01, 07, 13 i 19 čas.

U sondaži od 01 čas, za 15.novembar,karakteristična je velika relativna vlažnost u čitavom sloju do 3000 m iznad tla,posebno u sloju od 700m. U ovom sloju je temperatura vazduha od 2 do -2°C,dok je nulta izoterma na visini oko 270m.Promena vetra sa visinom je veoma mala, severna komponenta je u čitavom prizemnom sloju sve do 3000m iznad tla. Brzina vetra u najnižem prizemnom sloju je od 6 do 10 m/s, a u višim slojevima i veća, oko 12 m/s.



Sl.1.71. Raspodela mokrog snega, snega i kiše na teritoriji SR Srbije na dan 16. novembra u 01 čas

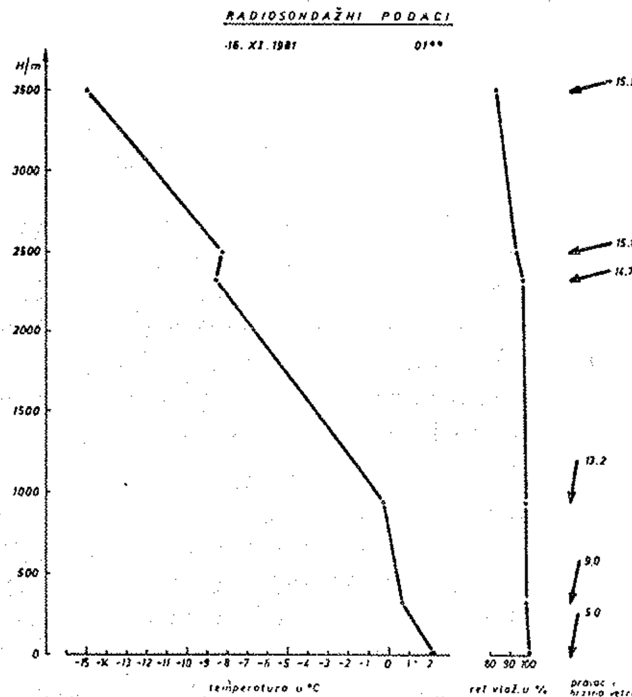
U sondaži od 07 čas, istog dana, situacija se bitno ne menja, osim što je temperatura u prizemnom sloju opala,tako da je u sloju do visine oko 600 m temperatura oko nule, ali ispod nje. Iznad ovog sloja je nagli pad temperature, tako da su u sloju od 600 m do 1000 m iznad zemljine površine zabeležene temperature do -4°C.

U ovom terminu vetar se u prizemnom sloju ne menja, ni po pravcu, a ni po brzini.

U toku dana, prema terminu u 13 čas, vetar se menja po pravcu sa visinom od severoistoka prema istoku, a po brzini od 5 do 15 m/s. Medjutim, manje brzine od 5 do 8 m/s su u

sloju do 1000m. U ovom sloju nema ni bitnijih promena temperature i vlažnosti (do 2 do -2°C i 100%).

U večernjim časovima u prizemnom sloju temperatura je još viša nego u prethodnim. U sloju od zemljine površine do 1000 m temperatura je od 3° do -1°C, nulta izoterma je na visini oko 600 m. Relativna vlažnost od 100 do 95%. Vetar severoistočni, od 7 do 15 m/s. Ovo je karakteristična situacija, jer se nulta izoterma nalazi na visini oko 1200 m iznad tla. U ovom prizemnom sloju od zemljine površine, pa sve do 1500 m, temperatura vazduha je od 2 do -2°C, dakle, veoma povoljna za padavine mokrog snega. Na sl. 1.72. prikazane su promene meteoroloških elemenata sa visinom, da nad 16. novembra u 01 čas.



Sl.1.72. Raspodela meteoroloških elemenata sa visinom iznad Beograda na dan 16.novembra u 01 čas

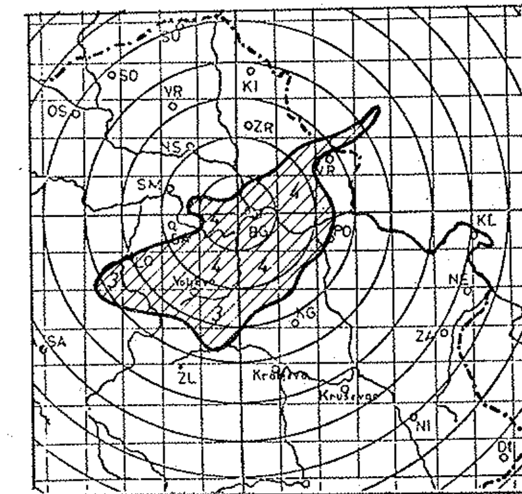
1.6.9 Podaci radarskih osmatranja

Odeljenje za radarsku meteorologiju u periodu havarija osmotrilo je nad teritorijom Srbije padavine: kišu, susnežicu i sneg, ali uglavnom mokar sneg. Intenzitet padavina je bio slab i umeren, a na momente i jak. Temperatura izmedju 0° i 2°C.

Prema radarskim merenjima u toku noći 15/16.novembra, od 10 do 07 čas u Valjevu je palo 29 mm snega, a u Požegi 11 mm, dok je u toku dana 16. novembra, od 07 do 19 čas, u Valjevu palo još 9 mm snega, a u Požegi još 1 mm.

Oblačnost iz koje su pale padavine je slojasta, uglavnom, nimbostratus (Ns) na visini 3 do 4 km. Intenzitet padavina je umeren, osim iznad šire okoline Valjeva. Iz priložene sl. 1.73. lako je uočiti ovu raspodelu. Od svih radarskih planšeta izabrana je ova od 16.novembra u 04 čas prema kojoj je

- Maksimalna visina odraza 4;
- H_1=1 km, max log Z_2=/
- H_2=/ max log Z_1=.38
- Tip oblačnog sistema, St, Ns
- Evolucija oblačnog sistema bez promene



Sl. 1.73. Širina oblačne zone na radarskoj karti, na dan 16. novembra u 04 časa

izradjena radarska karta. Treba napomenuti da je zbog jakog zagušivanja (oblačnost iznad samog radara) širina oblačne zone nešto manja nego u stvarnim uslovima.

1.6.10 Podaci merenja i osmatranja zaledjivanja provodnika

S obzirom da terenska ekipa Odeljenja za tehničku i fizičku meteorologiju nije izvršila ispitivanja na havarisanim dalekovodima koriste se podaci o zaledjivanju provodnika izmereni na Glavnim meteorološkim stanicama u Valjevu, Kraljevu Kruševcu i Požegi.

U Valjevu, naslaga mokrog snega počela je da se taloži na provodnicima uredjaja za merenje zaledjivanja 15. novembra, u popodnevnim časovima. Rast naslage trajao je do 08 čas sledećeg dana. Maksimalne dimenzije izmerene su kada je rast naslage prestao. Dobijene su sledeće vrednosti izmerene naslage.

U periodu od 15 do 24 časa izmerene su manje dimenzije naslage na oba provodnika, i to: na provodniku koji se pruža pravcem sever-jug prečnik je 15, a debljina 13 mm; na provodniku koji se pruža pravcem istok-zapad prečnik je 28, debljina 20 mm. Dakle, male dimenzije naslage mokrog snega, pa je težina ispod 0.3 kg/m. Pri taloženju ove naslage bilo je tiho, bez vetra, temperatura vazduha 0.4°C, snežni pokrivač 9 cm. Medjutim, 16. novembra u 01 čas ova stanica beleži maksimalne dimenzije i težinu i to na provodniku koji se pruža u pravcu sever-jug. Tada se javlja slab vetar iz zapadnog pravca, pri temperaturi vazduha oko 0.4° do 1.4°C; snežni pokrivač 19 cm, a maksimalne dimenzije i težine iznose:

-Prečnik: 47 mm; -srednji prečnik: 22 mm;
-debljina: 25 mm; -debljina zida naslage: 8.5mm;
-gustina: 400 kg/m³; -težina naslage: 0.325 kg/m.

Dimenzije i težine dobijene su na osnovu podataka o zaledjivanju izmerenih na uredjaju čiji je prečnik 0.5 cm, a visina 2 m iznad zemljine površine.

U Kraljevu, snežne padavine javljaju se znatno ranije, još od 9. novembra, ali su izmerene dimenzije nešto manje ili su naslage otpadale sa žica uredjaja zbog povećanja temperature vazduha, vetra ili težine. Maksimalne težine izmerene su 15. novembra u 0650 čas:

-prečnik: 48 mm; -srednji prečnik 25 mm;
-debljina: 37 mm; -debljina zida naslage: lo.1;
-gustina: 350 kg/m³; -težina naslage: 0430 kg/m.

Naslaga je izmerena pri temperaturi 0.8°C, vetar iz južnog kvadranta i brzini 2 m/s.

Ova naslaga mokrog snega osmotrena je još 14. novembra u 1645 čas i zadržala se do 15. novembra u 0845 čas kada je zbog težine otpala sa žice uredjaja, koji ima prečnik 0.5 cm. Tokom dana i uveče na ovoj žici uredjaja natoložila se nova naslaga mokrog snega, ali manjih dimenzija. Zbog toga, maksimalna naslaga bila bi nešto veća u jutarnjim časovima sledećeg dana. U toku 16. novembra, do 13 čas, padao je sneg, ali nije zabeležen dalji rast naslage.

U Kruševcu, nije bilo zaledjivanja provodnika sve do 15. novembra kada se na uredjaju natoložila naslaga mokrog snega. Ova naslaga dostigla je maksimalne dimenzije u 14 čas, ali je u 191o, čas nestala. U toku ovog dana temperatura vazduha se menjala od 0.3° do 0.6°C.

Maksimalne dimenzije naslage mokrog snega zabeležene 15. novembra u Kruševcu su iznosile:

Na žicama uredjaja postavljenih u pravcu sever-jug (u 13 čas):

-Prečnik: 86 mm; -srednji prečnik 45.8;
-debljina: 78 mm; -debljina zida naslage: 20.4;
-gustina: 310 kg/m³; -težina naslage : 1.4 kg/m.

Na žicama uredjaja postavljenih u pravcu istok-zapad (u 14 čas):

-Prečnik: 90 mm; -srednji prečnik: 49;
-debljina: 86mm; -debljina zida naslage: 22;
-gustina: 300 kg/m³; -težina naslage 1.6 kg/m.

Prema primljenom izveštaju od strane osmatrača, u gradu nije bilo havarija izuzev kidanja tanjih provodnika za uličnu rasvetu. U okolini Kruševca, a naročito u selima pod Jastrepcom, gde je temperatura vazduha bila niža, naslage su se zadržale do 19 časova, kada je počela da pada kiša. U popodnevnim i večernjim časovima u ovim krajevima oštećeni su nadzemni predmeti, a u prvom redu električni provodnici distributivne mreže. Veće havarije su se dogodile kod Aleksandro

vca gde je istovremeno došlo do pojave jakog vetra i taloženja mokrog snega.

U Požegi je još 14.novembra pri tihom vremenu padao mokar sneg, a na uredjaju se nataložila naslaga mokrog snega. U 19 čas naslaga je dostigla težinu oko 0.45 kg/m. I to je maksimalna težina u čitavom periodu sve do 16.novembra. Naime, zbog porasta temperature ova naslaga je otpala 15.novembra u 0730 čas., a nova naslaga se taložila u 1540 čas i zadržala sve do 16.novembra. U 19 čas ovog dana zabeležena je težina naslage oko 0.4 kg/m.

ZAKLJUČAK

Na osnovu iskustava prikupljenih u toku velikih havarija različitih konstrukcija, a u prvom redu elektroprenosnih, došlo se do zaključka da je potrebno pristupiti detaljnijem proučavanju zaledjivanja i istovremenom dejstvu vetra na zaledjenu konstrukciju imajući u vidu sledeće dalje mere, kako za potrebe projektovanja i izgradnje konstrukcija, tako i u toku njihovog održavanja radi preduzimanja preventivnih mera zaštite.

1. Organizovati obaveštavanje o vremenskim uslovima i izgledima vremena za naredne dane o zaledjivanju, vetru i dr. meteorološkim parametrima (prognoza vremena i radarska osmatranja).

2. Organizovati sistematska proučavanja zaledjivanja a prema sledećem programu:

2.1. Meriti zaledjivanja i pratećih meteoroloških elemenata i pojava u mrežama meteoroloških stanica i privrednih objekata značajnih za konstrukcije.

2.2. Specijalna merenja zaledjivanja sprovoditi na ogledno-istraživačkim stanicama (promene zaledjivanja u zavisnosti od vrste i tipa konstrukcije, laboratorijska ispitivanja zaledjivanja, utvrdjivanje uticaja vetra i zaledjivanja na vibracije konstrukcija, ispitati uticaje zaledjivanja u zavisnosti od izloženosti provodnika i dr.).

2.3 Prikupljati i obradjivati podatke o havarijama na dalekovodima, PTT linijama veze, gradjevinskim objektima i konstrukcijama, šumskim kompleksima i mnogim dr. (podaci, opisi, fotografije, skice i dr.).

2.4 Vršiti uporednu analizu havarija zaledjivanja i izraditi karte o prostornoj i vremenskoj raspodeli parametara zaledjivanja. Proučiti uticaje zajedničkog dejstva vetra i zaledjivanja.

3. Usavršavati metode merenja, obrade i analize meteoroloških podataka neophodnih za projektovanje i izgradnju, za rad i održavanja konstrukcija, a naročito elektroprenosnih sistema; specijalizacija kadra, modernizacija instrumenata i opreme, razmene mišljenja i stručnjaka, primene preporuke CIGRÉ, WMO i dr.

LITERATURA:

Belous, I.M.: VLIJANIE FIZIKO-GEOGRAFIČESKIH I METEOROLOGIČESKIH USLOVII NA PLOTNOST GOLOLEDNO IZMOROZEVIH OTLOŽENII, Trudi GGO, Vip 265, 1970.

Bučinski, V.E: ATLAS OBLEDENENIA PROVODOV, Gidrometeoizdat, 1955, 1966.

Bučinski, V.E.: GOLOLED I BORBA S NJIM, Gidrometeoizdat, 1960.

Burgsdorf, V.V: SOORUŽENIJA I EKSPLOATACIJA LINIJ ELEKTROPEREDAČI V SILJNOGOLOLEDNJIH RAJONAH, Gosenergoizdat, 1947. godine,

Burgsdorf, V.V i Muretov, N.S.: RASČOTNIE RAJONI GOLOLEDNOSTI V SSSR, Trudi VNIEE, Vip, 3, Gosenergoizdat, 1955.

Burgsdof, V.V: OBLEDENIE PROVODOV ELEKTROPEREDAČI, Trudi VNIEE, Vip X, Gosenergoizdat, 1960.

Čadež, M: VREME U JUGOSLAVIJI, Prirodno-matematički fakultet, Beograd, 1964.

Davenport, A.G: THE DEPENDENCE OF WIND LOADS ON METEOROLOGICAL PARAMETERS, Sympos, on Wind efekts on struktures, Otawy, 1967.

Djordjević.N: STUDIJA ORGANIZACIJE HIDROMETEOROLOŠKE AKTIVNOSTI ZA POTREBE JUGOSLOVENE ELEKTROPRIVREDE

Djukanović, D: HIDROMETEOROLOŠKA AKTIVNOST U DOMENU ELEKTROPRIVREDNE PROBLEMATIKE, Elektroprivreda br.11-12, 1961.

Djukanović, D.: ZALEDJIVANJE I UDARI VETRA KAO UTICAJNI FAKTORI KOD DALEKOVODA, Prvo savetovanje o eksploataciji dalekovodne mreže i trafostanica 110 i 220 kV, Jugoslavija, Portorož, 1963.

Djukanović, D. i Plazinić S. PROUČAVANJE ZALEDJIVANJA NA DALEKOVODIMA U SR SRBIJI, VIII Stručno savetovanje JUNAKO-CIGRÉ, Mostar 1966.

Djukanović D. i Vukmirović D, i Plazinić S: REZULTATI PRETHODNIH IZUČAVANJA ZALEDJIVANJA NADZEMNIH PROVODNIKA U SRBIJI, Zbornik radova povodom 20-to godišnjice hidrometeorološke službe SFRJ, Beograd, 1967.

Djukanović D. i Plazinić S.: EKSPERIMENTALNA STANICA ZA PROUČAVANJE ZALEDJIVANJA I DEJSTVA VETRA NA DALEKOVODE Zajednica jugoslovenske elektroprivrede, Beograd, 1969.

Djukanović D.: SISTEMATIZACIJA PODATAKA O HAVARIJAMA NA ELEKTROPRENOSNOJ MREŽI, V Savetovanje o prenosnoj mreži SFRJ, Opatija, 1973.

Gluhov, V.G: K OCENKE GOLOLEDNIH NAGRUZOK NA VISOTNIE SOORUŽENIJA PO DANIM AEROLOGIČESKIH NABLUDENII, Trudi GGO, Vip 283,1971.

Gluhov, V.G.: OB INTENZIVNOSTI OBLEDENIA PROVODOV RAZNOGO DIJAMETRA, Trudi GGO, Vip 3o3,1973.

Handžić, M.: METODE OSMATRANJA ZALEDJIVANJA I RAZORNIH UDARA VETRA NA PODRUČJU SR BiH, Elektroprenos Sarajevo, februara 1983.

Handžić,M: PRIJEDLOG JEDNOG PROGRAMA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O VJETRU ZA POTREBE DALEKOVODA V Savetovanje o prenosnoj mreži SFRJ, Opatija, 1973.

Ilovajski, P.: REKONSTRUKCIJA DV 110 kV KOSTOLAC-BOR PREKO CRNOG VRHA, Beograd, 1960.

IRCE-Energoinvest: STUDIJA DODATNIH TERETA NA NADZEMNIM VODOVIMA, IRCE-Sarajevo, 1964.

Jakl, F.: RUŠENJE STUPOVA NA DALEKOVODU 110+35KV VUNREDOŽBALD U SR SLOVENIJI ZBOG PREOPTEREĆENJA SNIJEGOM I LEDOM U FEUBRARU 1972. XI Savetovanje elektroenergetičara Jugoslavije, JUNAKO-CIGRE, Ohird, 1972.

Jelušić, F.: ISPITIVANJE STVARANJA LEDA NA DALEKOVODIMA Bilten Ministarstva Elektroprivrede FNRJ, Beograd 1948. godine.

Jelušić, F: BORBA SA ZALEDJIVANJEM VODIČA ELEKTRIČNIH NADZEMNIH VODOVA, Nakladni zavod Hrvatske, Zagreb, 1948.

Jovanović B. i PODACI O HAVARIJAMA NA DALEKOVODIMA 110 kV KOD AVALSKOG PUTA, Elektrodistribucija broj 1-2/1964.

Kocareva, J.: POJAVE ZALEDJIVANJA U SR MAKEDONIJI SA POSEBNIM OSVRTOM NA PREKIDE ELEKTROPRENOSNE MREŽE U USLOVIMA ZALEDJIVANJA KATASTROFALNIH RAZMERA, VIII Savetovanje klimatologa Jugoslavije, Beograd, 1972.

Konček, M.: VYSLEDKY POZOROVANI NAMRAZKI NA LOMNICKEM ŠTITE V LETECH 1941-1949. Hanzlikuv sbornik Vidavatelstvi Statnilo meteorologickelo ustavu, Praha, 1952.

Ledvinka, J.: KVAROVI NA DV 110 kV NA CRNOM VRHU, Elektroprivreda, br. 4/1950.

Ledvinka, J.: STANICE ZA OSMATRANJE ZALEDJIVANJA PROVODNIKA, Elektroprivreda, br.11/1950.

Markovičić, B.: PRIMJENA JUGOSLOVENSKIH PROPISA O KLIMATSKIM UVJETIMA ZA DALEKOVODE NAJVIŠIH NAPONA, IX Savetovanje elektroenergetičara Jugoslavije JUNAKO-CIGRE, Vrnjačka Banja 1968.

Mihel, V.M.: VEROJATNOST USLOVII BLAGOPRIJATNIH DLJA GOLOLEDNO;IZMOROZEVIH OTLOŽENII NA VISOTNIH SOORUŽENIJAH NA TERITORII SSSR, Trudi GGO, Vip.3o3.,1973.

Muretov, N.: ORGANIZACIJA IZRAČUNAVANJA POJAVE ZALEDJIVANJA ELEKTRIČNIH VODOVA, Meteorologija i hidrologija br. 2/1957, Lenjingrad

Nikiforov, E.P.: VLIJANIE KONSTRUKCIJI VAZDUŠNIH LINIJ ELEKTROPRERDAČI NA RASČOTNIE NAGRUSKI OT GOLOLEDA, Gosenergoizdat, 1966.

O M M: GUIDE DES PRATIQUES CLIMATOLOGIQUES, Suppl. No 5./VII 1966.

Orlenko, L.R.: WIND AND ITS TECHNICAL ASPECTS, Thecn, Note No.109, 1970.

Paris, L.: RECHERCHES SUR LES SURCHARGES DE VENT ET DE GIVRE DES LIGNES AERIENNES, LA STATION D ESSAIS DANS LA VALLEE SPLUGA, ENEL, Servizio Studi e Ricerche, Milano, 1963.

Pavičić, N. i Handžić M. BOSANSKA KRAJINA PODRUČJE ČESTIH HAVARIJA NA DALEKOVODIMA, V. Savetovanje o prenosnoj mreži SFRJ, Opatija, 1973.

Plazinić, S.: PRIVREMENO UPUTSTVO ZA OSMATRANJE I MERENJE ZALEDJIVANJA, Republički hidrometeorološki zavod SR Srbije, Beograd, 1965.

Plazinić, S. i Miljković N. ODREDJIVANJE MAKSIMALNE BRZINE VETRA, VII Savetovanje klimatologa Jugoslavije, Budva, 1969.

Plazinić, S. i Miljković N. MOKRI SNEG I ZALEDJIVANJE NADZEMNIH VODOVA, VIII Savetovanje klimatologa Jugoslavije, Beograd, 1972.

Prpić, I.: UTICAJ MOKROG SNEGA I ZALEDJIVANJA NA DALEKOVODNU MREŽU U NR BiH, Elektroprivreda broj 4-5/1961.

Rudnjeva, A.V.: UTICAJ RELJEFA NA VELIČINU TALOŽENJA NASLAGE LEDA NA PROVODNIKU, Trudi GGO, Vip. 88, 1960.

Rudnjeva, A.V.: GOLOLED I OBLEŽENIE PROVODOV NA TERITORIJII SSSR, Gidrometizdat, 1961.

Rudnjeva, A.V.: MOKRIJ SNEG I OBLEDENENIE PROVODOV NA TERITORII SSSR, Gidrometizdat, 1964.

Rudnjeva, A.V. i Basarskaja T.A, UČOT RELJEFA MESTNOSTI PRI RASČOTE GOLOLEDNIH NAGRUZOK, Trudi. GGO. Vip. 210, 1967.

SIV: PRAVILNIK O TEHNIČKIM MERAMA ZA IZGRADNJU NADZEMNIH ELEKTROENERGETSKIH VODOVA, Savezni sekretarijat za privredu SIV. Sl. list SFRJ br.51 od 27.IV 1973.godine

SSSR-Propisi: UKAZANIA PO OPREDELENIU GOLOLEDNIH NAGRUZOK.CH 318-65.M. 1966.

Stefanini, B.: POVODOM OBJAVLJIVANJA PRIVREMENIH PROPISA ZA PROJEKTOVANJE I GRADNJU DV 110 kV KLIMATSKI USLOVI, Elektroprivreda br. 6/1949.

Šaina, B.: ISKUSTVO U EKSPLOATACIJI DALEKOVODA 220 kV VINODOL.SENJ U TEŠKIM KLIMATSKIM USLOVIMA. V Savetovanje o prenosnoj mreži SFRJ, Opatija.1973.

Škarica, R.: ISPITNI VOD ZRMANJA, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1962.

Škarica, R. i Muftić Dž. HAVARIJA NA DALEKOVODU, 220 kV JABLANICA-MRACLIN, V Savetovanje o prenosnoj mreži SFRJ, Opatija. 1973.

Škarica R. i Benzon Z. VELIKE HAVARIJE NA ŠIBENSKO-ZADARSKOM PODRUČJU, XI Savetovanje elektroenergetičara Jugoslavije, JUNAKO-CIGRE, Ohrid, 1972.

Vujević, P: METEOROLOGIJA, Prosveta, Beograd, 1948.

Zavarina, M.V. O RASČOTE GOLOLEDNIH, GOLOLEDNO-VETROVIH I VETROVIH NAGRUZOK PRI GOLOLEDE, Trudi GGO, Vip, 3o3, 1973.

Zavarina, M.V. PROFILI RASČOTNIH SKOROSTEI I SKOROSTNIH NAPOROV VETRA, Trudi GGO, Vip.3o3.1973.

Zavarina, M.V. i Anapoljskaja L.E. ISLEDOVANIA PO STROITELJNOII KLIMATOLOGII V SSSR I ZA RUBEŽOM, Trudi GGO, Vip. 210, Gidrometizdat, 1967.

Zavarina, M.V: STROITELJNAJA KLIMATOLOGIJA, Gidrometeoizdat, Leningrad, 1976.

PRITISAK VETRA

Tehnička meteorologija proučava i ispituje uticaje vetra na gradjevinske objekte i konstrukcije. Posebnu pažnju pridaje merenju pravca i brzine vetra u lokalitetima ovih objekata i odredjivanju dodatnog opterećenja usled dejstva vetra. Za potrebe projektovanja, gradnje i eksploatacije vrlo različitih, ali u prvom redu visokih i velikih gradjevinskih objekata i konstrukcija, izloženih neprekidnom dejstvu vetra, ova grana meteorologije izradjuje studije-elaborate o režimu vetra. Razradjuje specijalne merne instrumente i metode ispitivanja, obrade i analize podataka o vetru, a naročito o proračunu dodatnog opterećenja usled dejstva vetra. Bez ovog meteorološkog parametra ne mogu se proceniti troškovi gradnje, količina gradjevinskog materijala i potrebni presek konstrukcije. Visoki gradjevinski objekti i konstrukcije neće biti pouzdani, trajni ni sigurni u eksploataciji bez ovog podatka.

Poznat je veliki uticaj vetra na nadzemne električne vodove-dalekovode. Trasa dalekovoda prolazi kroz različita fizičko-geografska područja u kojimsa su različiti mikroklimatski uticaji. U planinskim krajevima, pri prelazu preko prevoja, uvala i dolina dalekovodi mogu biti izloženi jakom vetru. Uopšte, u uslovima planinskog reljefa, zbog vetra su otežani održavanje i eksploatacija dalekovoda. U pojedinim vremenskim situacijama karakterističnim sa jakim vetrom dolazi do naglog povećanja dodatnog opterećenja na stubovima i provodnicima dalekovoda, a ukoliko nisu projektom obezbedjene maksimalne vrednosti opterećenja vetrom dolazi do teških oštećenja ili havarija.

Da bi se ovakva mesta i tereni, opasni za dalekovode, označili i projektom predvidela maksimalna opterećenja, organizuju se specijalna mikrometeorološka merenja i ispitivanja.

U ravničarskim krajevima ili sa blago ispresecanim zemljištem, usled promene brzine vetra odredjenog intervala,i

u zavisnosti od izloženosti ekspozicije dalekovoda u odnosu na pravac vetra, javljaju se na dalekovodu vrlo opasne pojave koje mogu oštetiti dalekovod, kao što su vibracije, igranje i galopiranje provodnika.

Ispitivanja ovakvih pojava na dalekovodima i sličnim elementima drugih gradjevinskih objekata i konstrukcija u prirodnim uslovima, na trasi i lokaciji, vrlo su složena. Zbog toga se detaljnija proučavanja i ispitivanja uticaja vetra na pojedine delove provodnika i stubova dalekovoda i elemente gradjevinskih objekata i konstrukcija sprovode na ogledno-istraživačkim stanicama i modelima.

Najčešće se za projektovanje, gradnju i održavanje gradjevinskih konstrukcija i objekata ispituje režim vetra na samoj lokaciji. Organizuju se specijalna merenja i ispitivanja, a prikupljeni podaci se uporedjuju sa podacima o vetru sa najbližih meteoroloških stanica koje se nalaze u istom fizičko-geografskom području. Usavršavaju se načini obrade i analize i traže savremeniji metodi proračuna dodatnog opterećenja za odgovarajući objekat i konstrukciju. Za visoke gradjevinske objekte i konstrukcije ispituju se promene dodatnog opterećenja sa visinom, a u zavisnosti od oblika, zaštićenosti i izloženosti objekta. Ovakva ispitivanja treba da pruže podatke o osnovnom dodatnom opterećenju i o koeficijentima za njihova preračunavanja u zavisnosti od pomenutih činilaca.

Zahvaljujući savremenijim metodima obrade podataka o brzini vetra za proračun dodatnog opterećenja usled dejstva vetra koristi se metod statističke ekstrapolacije verovatnoće računate maksimalne brzine vetra.

U poslednje vreme je sve više zemalja u kojima hidrometeorološke službe za potrebe projektantskih i gradjevinskih organizacija koriste metod tzv. integralne verovatnoće računate maksimalne brzine vetra koja se javlja jednom u 5, 10, 15 20 i više godina, a umesto dosadašnjeg načina nalaženja i izdvajanja apsolutne maksimalne brzine vetra ili srednje maksimalne brzine vetra.

Na osnovu izdvojenog apsolutnog maksimuma brzine vetra teško se može dobiti pouzdanije dodatno opterećenje koje

treba uzeti u projekat. Ekstremnu vrednost brzine vetra u periodu osmatranja meteorološke stanice treba koristiti samo ako postoji duži višegodišnji i homogeniji niz osmatranja,za 50 i više godina. Meteorološke stanice u mnogim zemljama, pa i u SR Srbiji, imaju znatno manje i vrlo različite periode osmatranja. Zbog toga, postoji neodlučnost i rezervisanost pri korišćenju podataka o apsolutnim ekstremima brzine vetra. Tako na primer, ako se koristi apsolutni ekstrem sa meteorološke stanice koja ima duži period osmatranja ali se nalazi u krajevima u kojima se javljaju manje brzine vetra, izdvojeni ekstrem može biti znatno veći nego apsolutni ekstrem one meteorološke stanice koja se nalazi u krajevima u kojima se javljaju veće brzine vetra, a ima vrlo kratak period osmatranja. Isto tako, ako stanica ima mali period osmatranja, od 10 godina, postojaće veliki rizik da se koristi apsolutni maksimum, jer ova vrednost može biti uskoro premašena.

Izloženi nedostaci, a naročito velike razlike u periodima predvidjene eksploatacije različitih objekata (od 5 do 100 i više godina) nameću potrebu da se umesto ekstremnih brzina koriste podaci o različitoj maksimalnoj brzini vetra sa zadatom verovatnoćom javljanja jednom u 5, 10, 15, 20 i 50 godina.

Analiza podataka o vetru sa lokacije budućeg gradjevinskog objekta ili konstrukcije mora se sprovesti brižljivo i tačno. Ukoliko se pogrešnom analizom (koja obuhvata više faza: od obrade do izbora raspodele i nalaženja verovatnoće računate maksimalne brzine) predlože projektantu dodatna opterećenja koja su manja od onih u uslovima eksploatacije, nastaju oštećenja ili havarije izgradjenog gradjevinskog objekta ili konstrukcije. Medjutim, ako se predlože dodatna opterećenja koja su znatno veća od onih, koja se javljaju na lokaciji obezbediće se znatno duži vek trajanja, ali će zato cena njihove izgradnje i utrošenog materijala prevazići i moguće gubitke zbog havarije.

Vrlo interesantne podatke o odnosu dodatnog opterećenja i cene gradnje gradjevinskog objekta ili konstrukcije iznosi Zavarina (1976):

Za visoke gradjevinske objekte koji imaju armiranobetonske stubove, ako se proračuna dodatno opterećenje veće za oko 25 daN/m² od potrebnog, tada se utroši više armiranog čelika za oko 25%. A ukoliko se kod ovih objekata dodatno opterećenje od 25 povećava na 35 daN/m² iznad potrebnog,tada se utrošak čelika povećava za još 19%. Ako se kod izgradnje dalekovoda visokog napona (oko 500 kV) poveća dodatno opterećenje samo za 10 daN/m² iznad potrebnog, a što odgovara povećanju brzine vetra samo za 3 m/s, cena se gradnje za svakih 100 km dalekovoda povećava za oko 50%.

Slična situacija je i pri izgradnji televizijskih tornjeva. Povećanjem dodatnog opterećenja za svega 15% iznad normalnog, cena gradje poraste za oko 2%. Izloženi primeri su svakako različiti za svaku zemlju.

Način izračunavanja dodatnog opterećenja i njihova primena vrše se prema zakonskim propisima. U našoj zemlji u važnosti je više pravilnika i propisa u zavisnosti od objekta. Tako postoje Tehnički propisi za noseće čelične konstrukcije, Pravilnik o tehničkim merama za izgradnju elektroenergetskih vodova, Pravilnik o tehničkim merama za izgradnju,postavljanje i održavanje antenskih postrojenja, i dr.

Imajući u vidu značaj podataka o vetru za potrebe projektovanja i gradnje gradjevinskih objekata i konstrukcija, nadležne hidrometeorološke službe daju mišljenje ili izdaju elaborate - studije o režimu vetra na lokacijama i trasama, u kojima predlažu dodatno opterećenje za odgovarajući gradjevinski objekat ili konstrukciju. Ovakva studija - elaborat sastavni je deo investiciono-tehničke dokumentacije gradjevinskog objekta ili konstrukcije.

2.1 Ukratko o osmatranju vetra

Zbog nejednakog toplotnog stanja zemljine površine, pa prema tome i vazduha iznad ove, nastaju razlike u vazdušnom pritisku. Narušena ravnoteža u atmosferi uspostavlja se strujanjem vazduha od višeg ka nižem pritisku. Ovo kretanje vazduha u odnosu na zemljinu površinu nazivamo vetar. Ponekad pod vetrom podrazumevamo i horizontalnu komponentu vektora brzine, kada su dobijeni podaci o pravcu i brzini vetra. Vetar

je, dakle, odredjen kada su mu odredjeni pravac i brzina ili jačina.

Pravac vetra se obeležava onom stranom sveta odakle duva vetar, ako nam vetar dolazi sa severa, to je severni, od istoka, istočni itd.

Pod brzinom vetra podrazumeva se predjeni put vazdušne mase u jedinici vremena. Otud se brzina vetra izražava u metrima na sekundu, čvorovima, kilometrima na čas i morskim miljama na čas. Pod jačinom vetra podrazumevamo silu vetra kojom ova deluje na pojedine predmete na zemlji. Kad nema vetra, ili kada je njegova brzina manja od 0.5 m/s, kažemo da je tišina i beležimo slovom C početnim slovom francuske reči Calma.

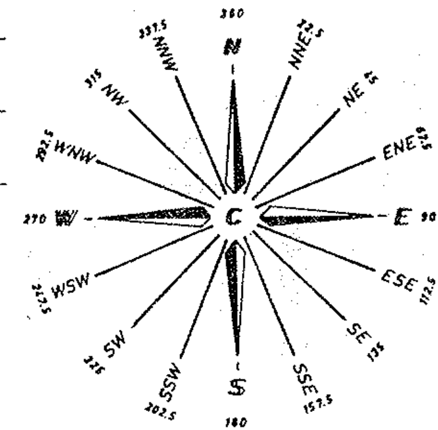
Ako se vetar javlja u kratkim ali jakim udarima na mahove zove se rafalni vetar. Rafal je naglo povećanje brzine vetra za 5 i više metara na sekundu, ali ne duže od 20 sekundi.

Označavanje pojedinih strana vrši se prema medjunarodnom dogovoru, početnim slovima engleskih naziva, gde imamo, N,E,S i W za oznake glavna četiri pravca, a kombinacijom ovih slova obeležavamo i sve ostale pravce, kako je to dalje izloženo:

Medjunarodne skraćenice	Naš naziv medjunarodnih skraćenica	Engleski naziv
-NNE	Sever-severoistok	North-North-East
- NE	Severoistok	North-East
-ENE	Istok-severoistok	East-North-East
- E	Istok	East
-ESE	Istok-jugoistok	East-South-East
- SE	Jugoistok	South-East
-SSE	Jug-jugoistok	South-South-East
- S	Jug	South
-SSW	Jug-jugozapad	South-South-West
- SW	Jugozapad	South-West
-WSW	Zapad-jugozapad	West-South-West
- W	Zapad	West
-WNW	Zapad-severozapad	West-North-West
- NW	Severozapad	North-West
-NNW	Sever-severozapad	North-North-West
- N	Sever	North

Za tačno obeležavanje pravca vetra služi ruža vetra (sl. 2.1).

Pravac i brzina, i jačina vetra osmatraju se vizuelno i pomoću instrumenata. Jačina vetra odredjuje se, osim opisno, pomoću Boforove lestvice ili skale takodje i Vildovim vetrokazom uredjajem za procenu jačine vetra korišćenjem Boforove skale. Upotreba Boforove skale za ocenu jačine vetra obavezna je na svim meteorološkim stanicama. Na stanicama gde postoje instrumenti za registrovanje brzine vetra koriste se oba načina tj. vrše se uporedna merenja jačine pomoću Boforove skale i brzine pomoću instrumenata.



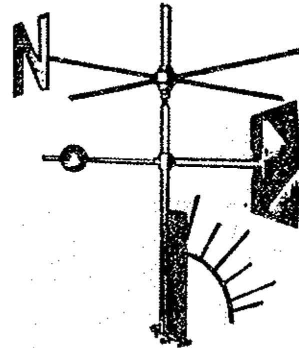
Sl. 2.1. Ruža vetra

Boforova skala za osmatranje jačine vetra važi za usvojenu visinu od 10m iznad ravnog i otvorenog zemljišta.

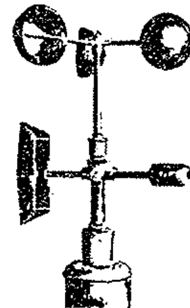
Kod odredjivanja jačine vetra Vildovim vetrokazom osmatraju se kolebanja ploče na vetrokazu i utvrdjuje srednji položaj ploče u odnosu na pojedine zupce na lučkoj lestvici (sl. 2.2) Zupci su duži i kraći radi lakšeg raspoznavanja.

Број по Бофору	Назив ветра	Одговарајуће брзине на усвојеној висини од 10 м изнад равног и отвореног земљишта				ОПИС ПОЈАВА
		Средња брзина у чворовима	м/с	км/час	Морске миље на час	На копну
0	Тишина	<1	0-0,2	<1	<1	Тихо; дим се диже усправно увис.
1	Лак поветарац	1-3	0,3-1,5	1-5	1-3	Правац ветра се запажа по кретању дима, а не по ветроказу.
2	Поветарац	4-6	1,6-3,3	6-11	4-7	Ветар се осећа на лицу, лишће трепери ветроказ се покреће.
3	Слаб ветар	7-10	3,4-5,4	12-19	8-12	Лишће и гранчице стално се крећу; развијају се лаке заставе.
4	Умерен ветар	11-16	5,5-7,9	20-28	13-18	Ветар узвиже прашину и листове хартије; покреће мале гране.
5	Умерено јак ветар	17-21	8,0-10,7	29-38	19-24	Тања лисната стабла почињу да се њуљају; образују се мали таласи са крестама на копненим водама.
6	Јак ветар	22-27	10,8-13,8	39-49	25-31	Покрећу се велике гране; чује се зујање телеграфских жица; отежана употреба кишобрана.
7	Врло јак ветар	28-33	13,9-17,1	50-61	32-38	Цела дрвета се њуљају; ходање уз ветар отежано.
8	Олујни ветар	34-40	17,2-20,7	62-74	39-46	Ветар ломи гране на дрвећу; ходање против ветра је уопште узев немогуће.
9	Олуја	41-47	20,8-24,4	75-88	47-54	Настају лака оштећења на зградама (откидање олука, рушење димњака и скидање црепа).
10	Жестока олуја	48-55	24,5-28,4	89-102	55-63	Ретко се јавља у унутрашњости копна; чупа дрвета из земље; настају велике штете на зградама.
11	Оркенска олуја	56-63	28,5-32,6	103-117	64-72	Врло ретка појава, праћена разарањима великих размера.
12	Оркан	64-71	32,7-36,9	118-133	73-82	—
13	—	72-80	37,0-41,4	134-149	83-92	—
14	—	81-89	41,5-46,1	150-166	93-103	—
15	—	90-99	46,2-50,9	167-183	104-114	—
16	—	100-108	51,0-56,0	184-201	115-125	—
17	—	109-118	56,1-61,2	202-220	126-136	—

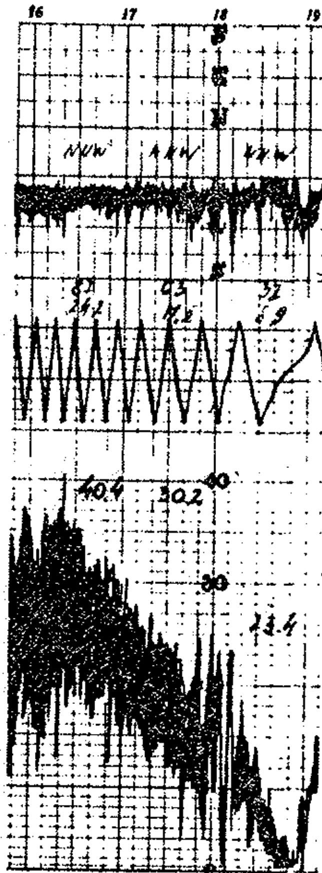
Za instrumentalno beleženje pravca i brzine vetra služi anemograf. Kod nas je najviše u upotrebi Fusov univerzalni anemograf koji ima uredjaje za baždarenje pravca vetra, srednje brzine ili predjenog puta u kilometrima, i trenutne brzine vetra u metrima na sekundu. U tu svrhu on ima prijemni deo (sl. 2.3) i deo za baždarenje.



Sl.2.2 Vildov vetrokaz



Sl.2.3. Prijemni deo Fusovog anemografa



Sl.2.4 Deo anemograskog dijagrama

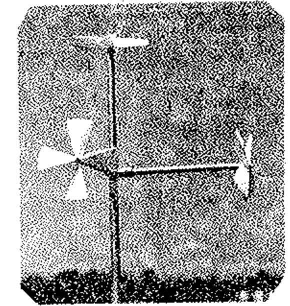
Traka anemografa (sl.2.4) ima vodoravne podele za pravac, srednju brzinu (predjeni put) i trenutnu brzinu (jačinu) vetra i uspravne (časovne podele na 10 minuta).

Sa strane dijagrama nacrtana je lestvica za jačinu vetra u kilogramima na kvadratni metar.

Za beleženje pravca i brzine vetra u lokalitetima industrijskih objekata ili u područjima značajnim za proučavanje zagadjenosti vazduha, najčešće se koriste samoindukcioni anemografi, tzv. NEZ anemometarski sistem. Ovaj je sve više u upotrebi pri kompleksnim istraživanjima prostorne i vremenske raspodele zagadjenosti vazduha. Anemometarski sistem NEZ (North-Est-Zenith) neprekidno meri komponente vektora vetra u digitalnom obliku i za automatsku obradu podataka (sl. (2.5). Naročito je pogodan za merenje

turbulencije i vrlo malih brzina vetra.

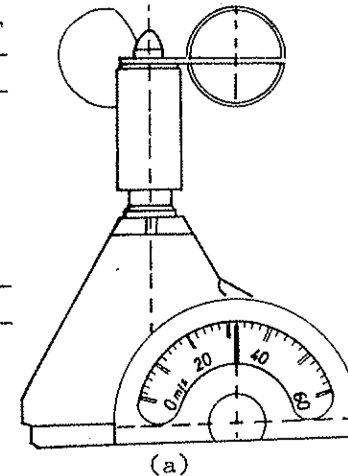
Da bi se dobio podatak o maksimalnoj brzini vetra duž trase dalekovoda ili u nepristupačnom području u kome će se graditi visoki gradjevinski objekti ili konstrukcije postavlja se tzv. "maksimalni anemometar". Na sl.2.6 je projektcija ovog instrumenta sa bočne strane i njegova donja strana na kojoj se nalazi skala sa skazaljkom za očitavanje maksimalne brzine. pod (a) i maksimalni anemograf "Jože Štefan", pod (b).

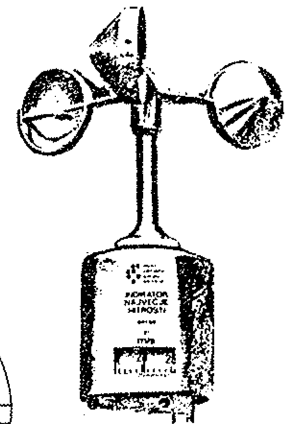


Sl.2.5. NEZ-anemometarski sistem

Promene brzine i pravca vetra, pri zemljinoj površini, uglavnom su pod uticajem složenog reljefa i terena u planinskim krajevima, kompleksa šuma, naselja, industrijskih objekata, obala i dr. fizičko-geografskih uslova.

Nailazeći na ove prepreke kod vetra se pojačava uzlazna vertikalna komponenta. Na privetrinskoj i zavetrinskoj strani prepreke javljaju se vrtložna turbulentna strujanja (sl.2.7).



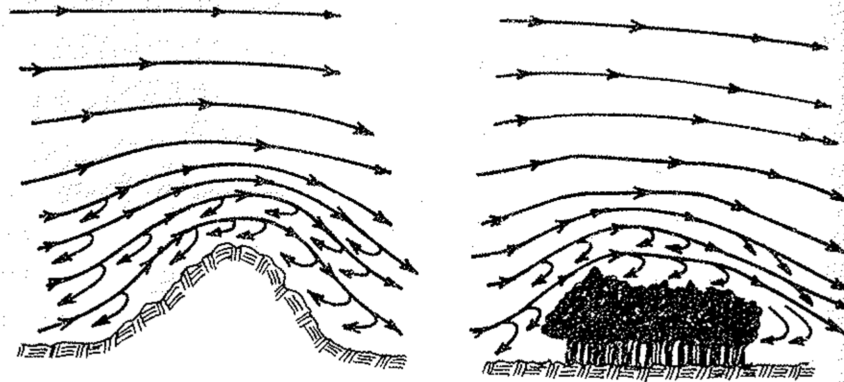


(a) (b)

Sl.2.6. Maksimalni anemometri"Lambrehtov"(a) i "Jože Štefanov" (b)

U planinskim krajevima, u kotlinama i dolinama, duvaju vetrovi koji se mogu znatno razlikovati po pravcu i brzini od osnovnog strujanja koje je iznad planine. Slične promene kod vetra stvaraju guste i visoke šume. Turbulentno strujanje iznad šume može biti sve do visine 300 m, a iznad ove visine dolazi

do povećanja brzine vetra usled zbijanja vazdušnih strujnica.



Sl.2.7. Pojava turbulencije pod uticajem orografije i šume

Medjutim, na zavetrinskoj strani šume brzina vetra naglo opada. Ovaj zaštitni pojas šume na zavetrijskoj strani prostire se čak i do četrdesetostruke njene visine.

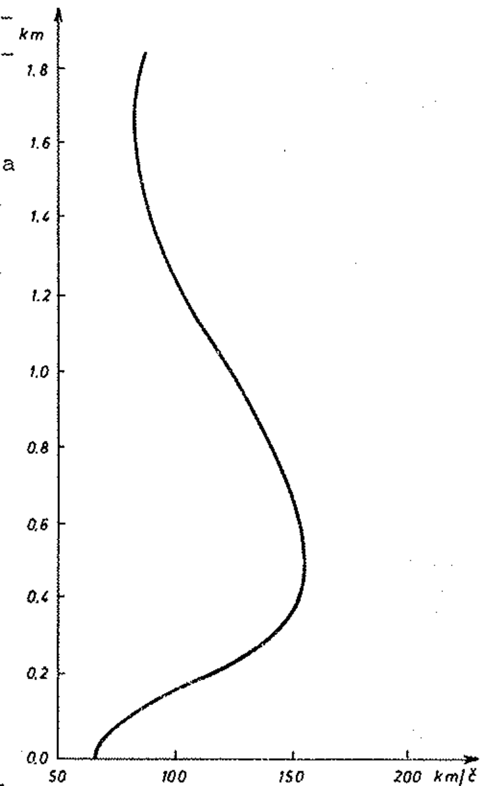
Dnevne promene pravca i brzine vetra uglavnom zavise od stanja atmosfere, odnosno tipa vremena. Ako je stabilno stanje atmosfere, pri tzv. anticiklonalnom tipu vremena, dnevne promene vetra prate dnevni hod Sunca. U jutarnjim časovima, posle izlaska Sunca brzina se povećava, a u najtoplijim časovima dana, kada je Sunce u zenitu brzina dostiže maksimum. U toku noći, ona je znatno manja nego danju. Pred izlazak Sunca dostiže minimum. Pri ostalim tipovima vremena dnevne promene brzine vetra zavise od fizičko-geografskih i drugih uslova.

Dnevna promena pravca vetra pri anticiklonalnom tipu vremena prati takodje, dnevni hod Sunca. Vetar uglavnom duva iz pravca gde se približno nalazi Sunce. To je posledica stalnog menjanja horizontalnog gradijenta pritiska.

U prizemnom sloju atmosfere promene vetra sa visinom zavise od sile trenja. Ove promene jasnije su izražene u najnižem sloju atmosfere od zemljine površine do visine 30-50 m. U ovom sloju brzina vetra naglo se menja sa visinom, dok se pravac praktično ne menja. Promene brzine i pravca vetra

zavise od hrapavosti podloge, stanja atmosfere i veličine brzine vetra. Što je podloga hrapavija sila spoljašnjeg trenja je veća, a time i promene pravca i brzine vetra sa visinom. U nestabilnim stanjima atmosfere, kada se javljaju jaka turbulencija i konvekcija, brzina vetra se sporije menja sa visinom nego u ostalim stanjima atmosfere. Tako, pri stabilnoj stratifikaciji turbulencija je slabija i nema veće razmene količine kretanja izmedju prizemnog i viših slojeva.

Brzina vetra u sloju vazduha neposrednim uz zemljinu površinu je ralativno mala, pa su njene promene sa visinom velike. Debljina sloja trenja, pri ovom tipu vremena iznosi od zemljine površine pa do visine 300-500m. Medjutim, sloj trenja može biti i deblji, do visine 1500m a u pojedinim karakterističnim stanjima atmosfere kada se javljaju jaki vetrovi, čak i do visine 2 ili 3 km. Na sl.2.8. prikazana je promena brzine vetra sa visinom u Beogradu pri jakoj košavi 17.januara 1974. godine.

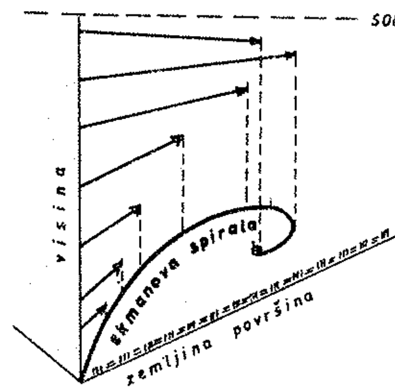


Sl.2.8. Promene vetra sa visinom pri jakoj košavi u Beogradu

U prizemnom sloju pravac vetra se menja sa visinom prosečno 60° udesno od horizontalnog gradijenta pritiska. Ovaj ugao se povećava sa visinom, tako da iznad sloja trenja iznosi 90°. Na sl.2.9. prikazana je promena pravca i brzine vetra sa visinom u sloju trenja.

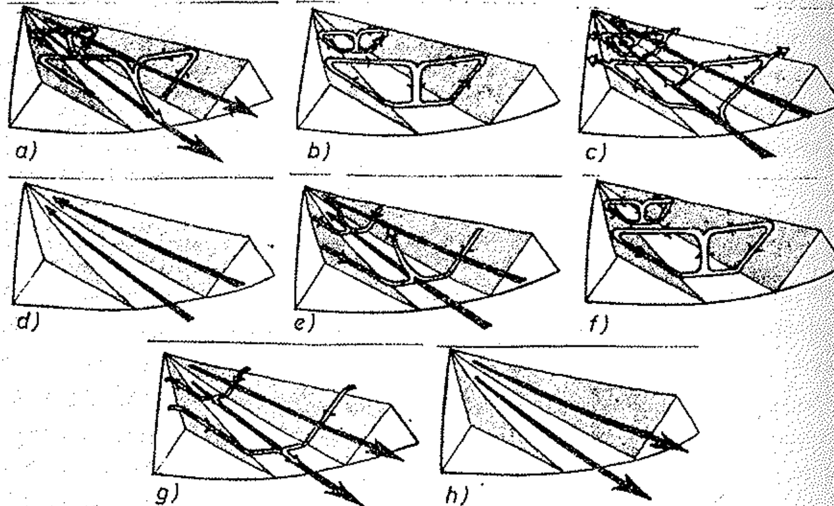
Postoje razni lokalni vetrovi, koji se u toku dana

menjaju po pravcu i po brzini. Za potrebe tehničke meteorologije od posebnog su značaja lokalni vetrovi danik i noćnik, ili dolinski i planinski vetar. Nastaju u planinskim krajevima usled nejednakog zagrevanja i hladjenja zemljine podloge. Najčešće se javljaju za vreme stabilnog stanja, pri anticiklonalnom tipu vremena kada nema većeg prenosa vazdušnih masa iznad čitave planinske oblasti.



Sl.2.9. Promena pravca i brzine vetra sa visinom u sloju trenja

Nastaju zbog razlike u temperaturi vazduha koji se nalazi neposredno iznad zemljine površine na padinama planinskih dolina i na istoj visini vazduha u slobodnoj atmosferi. Poznavanje strukture i intenziteta ovog vetra veoma je značajno kada treba utvrditi mogućnosti provetravanja i prečišćavanja zagadjenog vazduha i uopšte kod projektovanja i izgradnje industrijskih objekata i naselja u lokalitetima planinskih krajeva.



Sl.2.10. Dolinski i planinski vetrovi (prema Defantu,1951).

Na sl.2.10. od (a) do (h) šematski je prikazana struktura planinskog i dolinskog vetra. Po izlasku Sunca vazduh se zagreva u dodiru sa zemljinom površinom i pod dejstvom slobodne sile potiska, koja je usmerena naviše penje se uz padine a zatim spušta niz dolinu (a). U ranim jutarnjim časovima već oko 9 časova temperatura vazduha iznad padine i doline je izjednačena te nastaje zatvorena cirkulacija vazduha (b). Oko podne i u prvim popodnevnim časovima vazduh se u vidu dolinskog vetra penje uz zagrejane padine, i duva ka višim delovima doline (c). Kasno popodne padine su još znatno toplije od vazduha iznad ravnice, tako da vazduh struji, uglavnom, uz dolinu (d). U prvim večernjim časovima ova razlika u temperaturi vazduha je smanjena znatno, tako da je vazduh iznad padine samo nešto malo topliji nego iznad ravnice (e). U večernjim časovima izjednačuje se temperatura vazduha iznad ravnice i iznad padine (f). Oko ponoći vazduh iznad padine dosta se rashladio, gušći je nego vazduh u slobodnoj atmosferi iznad ravnice, pa se hladniji vazduh pod dejstvom slobodne sile potiska spušta naniže niz padine i nizine. Hladjenje prizemnog vazduha u toku noći postaje sve jače i niz padine duvaju tada sveži planinski vetrovi i to sve do jutarnjih časova sledećeg dana (g i h).

U godišnjem hodu srednje brzine vetra su veće u toku zime, kada nastaju velike razlike u pritisku vazduha izmedju pola i polutara na severnoj hemisferi. Leti je ova razlika znatno manja, pa i gradijenti pritiska, a srednje brzine vetra znatno manje.

Za potrebe projektovanja i izgradnje visokih gradjevinskih objekata i konstrukcija mnogo je važniji pritisak vazduha nego njegova jačina i brzina.

Vetar čija je brzina (V) vrši pritisak (P) na elemente gradjevinskog objekta ili konstrukcije. Iz Beruljeve jednačine dobijamo da je pritisak zaustavljenog horizontalnog strujanja vazduha neposredno ispred elementa povećan za:

$$p_0 - p = \frac{\varrho V^2}{2}$$

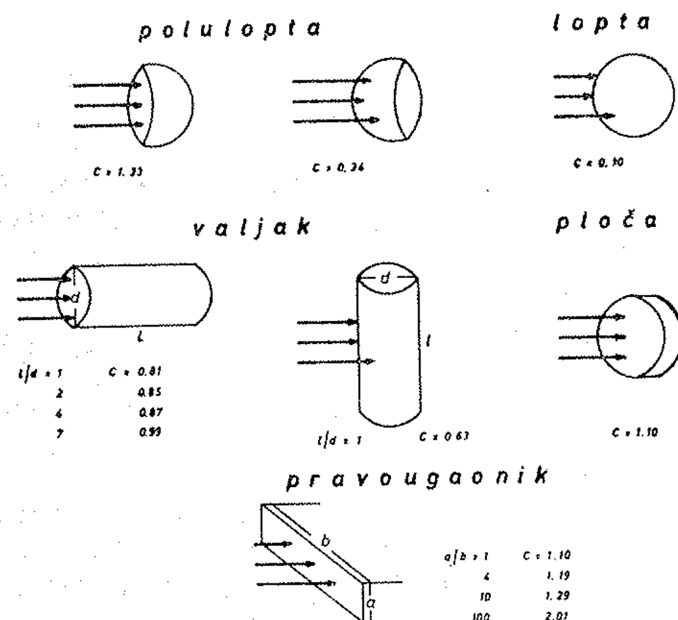
Povećanje je srazmerno gustini vazduha i kvadratu brzine vetra. Ovo povećanje izazvano zaustavljanjem vazduha ispred elemenata, zove se dinamički pritisak. Medjutim, zbog

zaustavljanja vazduha na strani elementa izloženog strujanju javlja se otpor sredine kao posledica dejstva sile inercije okolnog vazduha. Ovaj zavisi kako od gustine vazduha i brzine vetra tako i od oblika elementa odnosno od njegovog najvećeg preseka normalnog na pravac vetra, i od turbulentnosti atmosfere. Prema tome, otpor sredine se može izraziti silom (P) kojom vazduh gustine (ϱ) deluje na element sa najvećim presekom (σ) normalnim na vazdušne strujnice:

$$p = c\sigma\varrho\frac{V^2}{2}$$

ovde je c-koeficijent otpora.

Eksperimentalnim putem odredjivane su vrednosti koeficijenta c za različite elemente gradjevinskih objekata ili konstrukcija. Koeficijent otpora je manji ako elementi imaju aerodinamički oblik. Na sl.2.11. prikazani su koeficijenti otpora za različite oblike geometrijskih tela.



Sl.2.11. Koeficijenti otpora za različite oblike geometrijskih tela

2.2 Podaci o vetru na meteorološkim stanicama na teritoriji SR Srbije

Meteorološke stanice na teritoriji SR Srbije koje osmatraju i mere pravac i brzinu vetra su brojne i pokrivaju skoro celu teritoriju Republike. Medjutim, merenje pravca i brzine vetra je različito i zavisi od vrste meteoroloških stanica i instrumenata.

Najbrojnije su tzv. padavinske, kišomerne meteorološke stanice, više-manje prostorno dobro rasporedjene, ali instrumentalno neopremljene. Na njima se vrše samo vizuelna osmatranja pravca i jačine vetra. Beleže se pojave u periodu koje stvaraju jaki vetorivi na usvojenoj visini iznad otvorenog i ravnog zemljišta, a prema Boforovoj lestvici.

Osmatrači na padavinskim stanicama upisuju u dnevnik osmatranja, period podataka o vetru, štete i havarije koje nastaju zbog jakog vetra.

Klimatološke stanice, koje su rasporedjene u različitim klimatskim i mikroklimatskim područjima i lokalitetima,osmatraju pravac i brzinu vetra sistematski i redovno, tri puta dnevno, u 07, 14 i 21 čas po lokalnom vremenu. Merenje pravca i brzine vetra vrši se pomoću Vildovog vetrokaza. Takodje se beleže pojave usled jakog vetra koje su se dogodile izmedju termina osmatranja.

Osmatranja vetra na padavinskim i klimatološkim stanicama koja su vizuelna, od oka, imaju dobro poznate nedostatke: vrednosti se procenjuju i zavise od subjektivne ocene osmatrača. Brzina vetra na klimatološkim stanicama se odredjuje veličinom otklona ploče na vetrokazu, koja se nalazi na visini 8 do 10 m iznad zemljine površine. Osmatranja su naročito otežana u zimskom periodu u večernjim časovima. Dobre strane osmatranja vetra na klimatološkim stanicama su brojnost i homogenost podataka, a takodje i dobra teritorijalna raspodela ovih stanica (u ravnicama, brdovitim krajevima, na planinskim visoravnima, prevojima i drugim planinskim područjima). Podaci o vetru prikupljeni sa različitih područja na teritoriji SR Srbije omogućuju da se analiziraju uticaji vetra na gradjevinske objekte i konstrukcije i u različitim industrijskim lokalitetima i fizičko-geografskim terenima.

Glavne meteorološke stanice nisu brojne, naročito u planinskim krajevima, ali instrumentalno najopremljenije i popunjene kvalifikovanim kadrom za sistematska i neprekidna osmatranja pored vetra i mnogih meteoroloških elemenata i pojava. Svaka od ovih stanica raspolaže jednim ili više automatskih instrumenata koji neprekidno beleže srednju i trenutnu brzinu i njihov pravac. Takodje se beleže atmosferske pojave. grmljavinske nepogode i naleti jakog vetra u momentu javljanja i trajanja u vidnom polju osmatrača. Ovakav način osmatranja i merenja meteoroloških elemenata i pojava omogućuje da se sprovede iscrpna analiza o vetru. Podaci o vetru su tačniji i sa ovih stanica pogodniji za obradu kako zbog instrumenata i metode merenja tako i reprezentativnosti same stanice. Zbog toga, pri proračunu dodatnog opterećenja u prvom redu treba koristiti podatke o vetru sa najbližih glavnih meteoroloških stanica. Naravno, nije uvek moguće naći reprezentativnu stanicu u lokalitetu ili fizičko-geografskom području u kome se gradi gradjevinski objekat ili konstrukcija. Teškoće posebno nastaju i kada treba dati podatke o vetru za objekte koji se grade u teško pristupačnim planinskim krajevima. U ovakvim slučajevima na teško pristupačnim terenima i nenastanjenim područjima organizuju se tzv. merni punktovi na kojima se postavlja maksimalni anemometar. Tako imamo veoma pogodne maksimalne anemometre za postavljanje, održavanje i očitavanje. To su Olbergov anemometar i anemometar "Jože Štefan". Ovi instrumenti, pomoću indeksa "markiraju" najveću brzinu vetra koja se javila izmedju dva osmatranja. Ovakvi instrumenti najčešće se postavljaju na trasama dalekovoda koje prolaze kroz nenaseljene terene planinskih prevoja i vrhova ili na lokaciji gradjevinskog objekta, koji je u nepristupačnim i osamljenim mestima, a za koje se predpostavlja da su pod uticajem jakog vetra.

Osim osmatranja i merenja pravca i brzine vetra na padavinskim, klimatološkim, grlavnim meteorološkim i specijalnim meteorološkim stanicama, organizuju se i terenska merenja i ispitivanja na lokaciji budućeg objekta, a naročito na trasama dalekovoda. Terenska ispitivanja vrše se u cilju prikupljanja podataka i obaveštavanja o jakom vetru i eventualnim štetama i havarijama na okolnim objektima usled jakog vetra. Specijalne terenske ekipe sastavljene od meteorologa i meteoroloških tehničara prikupljaju obaveštenja od nadležnih organizacija koje održavaju dalekovode, PTT-linije veze, od opštinskih i društvenih organizacija i stanovništva, a isto tako beleže zapažanja o oštećenjima na objektima i drveću na lokaciji ili trasi usled dejstva vetra. Ovakvi podaci su vrlo korisni. Medjutim, podaci o vetru prikupljeni od stanovništva ponekad mogu biti i nepouzdani, pa ih sa velikom obazirvošću treba prihvatati. Najčešće se analiziraju kompleksno sa podacima o vetru izmerenim na meteorološkim stanicama.

2.3 Metodologija obrade i analize podataka o vetru

Matematička generalizacija verovatnoće računate brzine vetra je dosta složena. Vetar je karakteristična pojava pod uticajem brojnih činilaca: cirkulacije vazdušnih masa, termičkog režima, orografije, toplotnog bilansa atmosfere i dr.

Prema ispitivanjima mnogih meteoroloških službi i preporukama raznih organizacija, kao što su Svetska meteorološka organizacija, Medjunarodna komisija za gradjevinsku i primenjenu meteorologiju, Medjunarodna organizacija za elektroprivredu (CIGRA) i dr. za odredjivanje opterećenja usled dejstva vetra najčešće se koristi metod verovatnoće računate maksimalne brzine vetra.

Praktični značaj ovog metoda je u jednostavnom koordinatnom sistemu i prikazu raspodele maksimalnih brzina vetra sa odgovarajućim veličinama verovatnoće. Ovakvu postavku iznosi H.Tom (1954.), polazeći od godišnjih maksimuma brzine vetra.

Kako brzina vetra ne može biti negativna, njena raspodela ima donju granicu nulu. Prema Fišeru i Tipitu (1926.) raspodela ekstremnih vrednosti se može predstaviti sledećim jednačinama:

$$F_{(v)} = e^{-e^{-v}} \qquad (2.1)$$

$$F_{(v)} = e^{-v^{-\gamma}} \qquad (2.2)$$

$$F_{(v)} = e^{-(-v)^{\gamma}} \qquad (2.3)$$

Jednačine (2.2) i (2.3) se razlikuju u znaku ispred v i γ. Ako je $\gamma = 1/\delta$ i ako δ teži nuli, tada ove jednačine te-

že da postanu jednačine (2.1). Druga i treća jednačina su ograničene nulom. Medjutim, prva jednačina nije ograničena. Brzina vetra (v) je normalna promenljiva, te se može menjati u jedinicama β počevši od neke utvrdjene tačke α. Na ovaj se način može prikazati v u izrazu $\frac{v-\alpha}{\beta}$, u kojem je α ma koja vrednost koja mora biti veća od nule.

Donja granica brzine vetra je nula, a gornja se ne može ni približno odrediti, jer ma koju vrednost vetra predpostaviti postoji verovatnoća da će biti premašena.

Za ukulapanje ekstremnih vrednosti brzine vetra H.Tom (1968.) je predložio kao najpogodniju jednačinu (2.2). Donja granica ove jednačine je nula, a gornja granica je odredjena brzinom vetra koja ima malu verovatnoću da će biti premašena. Za ove granične vrednosti brzine vetra ($v > 0$, $\beta = 0$) jednačina raspodele drugog tipa (2.2) postaje dvoparametarska jednačina raspodele:

$$F_{(v)} = e^{-\left(\frac{v}{\beta}\right)^{-\gamma}} \qquad (2.4)$$

Ako je brzina vetra $v = \beta$ tada je $F(v) = e^{-1} = 0.368$, a sve krive za dato β prolaze kroz zajedničku tačku nezavisno od vrednosti γ. Dakle, brzina vetra je brojno jednaka β i ima verovatnoću 0.368.

Primenom dvostrukog logaritma na recipročnu vrednost raspodele ekstremnih brzina vetra prema jednačini (2.4) dobija se jednostavniji dijagram verovatnoće koji se primenjuje u praktične svrhe:

$$lg\,lg\left[\frac{1}{F_{(v)}}\right] = -\gamma(lg\,v - lg\,\beta) + lg\,lg\,e$$

U ovoj jednačini F(v) je eksplicitna linearna funkcija od $lg\,v$. Ako ovakvu raspodelu predstavimo grafički sa koordinatnim sistemom u kome je apscisa lg lg $[1/F(v)]$, a ordinata lg v, dobijamo niz pravih sa nagibom koji je odredjen koeficijentom (γ): $\gamma = \frac{lg\,lg\,[1/F(v) - lg\,lg\,e]}{lg\,\beta - lg\,v}$

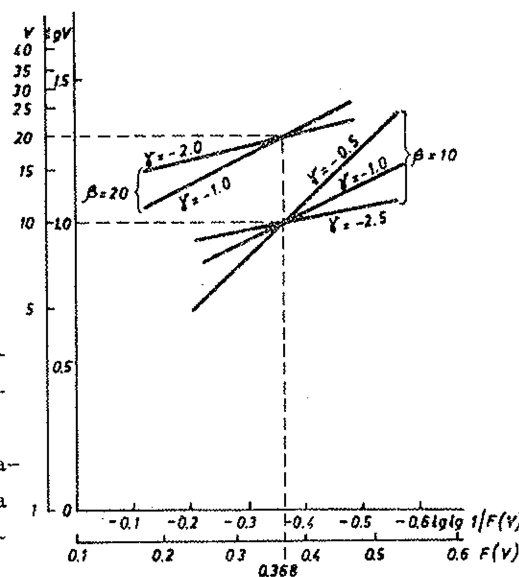
Na Sl. 2.12. prikazan je odnos F(v) sa vrednostima β=10 i 20 a svaka prava ima odgovarajući nagib (γ).

Radi procene trajanja nekog objekta pod uticajem vetra odredjuje se period vremena (T) u godinama, u kome brzina vetra ne prelazi izabranu vrednost (v):

$$T = \frac{1}{1 - F(v)} \qquad (2.5)$$

Za ekstremne vrednosti raspodele Gumbel (1935.) je odredio asimptotske tačke koje su u ovom slučaju tačke verovatnoće aproksimirane odnosom: $\frac{m}{n+1}$ m-redni broj, a n-ukupni broj podataka.

Pri aproksimatiji raspodele brzine vetra prema jednačini (2.4) članovi reda rasporedjuju se u rastućem nizu, a integracija diferencijalne verovatnoće počinje sa najmanjom vrednošću promenljive.



Sl. 2.12. Odnosi F(v) za različite vrednosti β i γ

Integralnu verovatnoću ekstremnih brzina vetra odredjujemo sledećom formulom: $F_{(v)} = \frac{m_s}{n+1}$

U ovoj formuli je m_s-srednji redni broj svakog člana ekstremne brzine vetra, a n- broj članova rasporedjenih u rastućem nizu.

Najčešće se postavlja pitanje: dali treba koristiti pri odredjivanju integralne verovatnoće dnevne, mesečne ili godišnje maksimalne brzine vetra.

U osmatračkom materijalu svake stanice nalazi se znatno veći broj podataka o dnevnim ekstremima brzine vetra nego mesečnim ili godišnjim. Brojni dnevni maksimumi imaju različite brzine; veći broj je ispod 15 m/s. Istovremena obrada podataka o različitim brzinama vetra: ispod 15 m/s i većih brzina od 15,20,30 ili preko 30 m/s, dosta je složena i često ne daje zadovoljavajuće rezultate pri nalaženju linearne zavisnosti. Pojava jakog vetra najčešće je u vezi sa prolaskom ciklona ili prodorom vazdušnih masa i potpuno se razlikuju od pojave slabih vetrova, koji uglavnom nastaju zbog lokalnih uzroka. Kolmogorov

(1962) je ukazao na proces koji dovodi do pojave slabih i umerenih vetrova i istakao da ovi nisu karakteristični za pojavu jakih vetrova.

Polazeći od višegodišnjih podataka o vetru smatra se (Gandin, Zavarina, 1968, Berštein, 1973. i dr.) da su mesečne maksimalne brzine pogodnije za obradu nego dnevne. Mnoge meteorološke stanice na teritoriji SR Srbije koje imaju registrirne instrumente, imaju male periode osmatranja, pet ili deset godina, pa korišćenje godišnjih ekstrema ne bi bilo pogodnije od mesečnih. Neka iskustva pri uporednom ispitivanju mesečnih i godišnjih maksimuma (VNIEE,1962) pokazuju da postoje male razlike u prikazu krive raspodele. Medjutim,preporučuje se korišćenje godišnjih maksimuma samo kada se raspolaže homogenim podacima o maksimumu za 20 i više godina (Zavarina 1971; Davenport, 1967.).

Kako se na klimatološkim stanicama na teritoriji SR Srbije osmatranja vetra vrše Vildovim vetrokazom sa lakom pločom, a jačina vetra procenjuje prema Boforovoj lestvici,posebnu pažnju treba pokloniti obradi ovih podataka. Tako,na primer, osmotrene brzine vetra od 20 m/s, mogu sadržavati i znatno veće brzine s obzirom na otklon ploče kod Vildovog vetrokaza. U ovakvim se slučajevima, u zavisnosti od čestine javljanja brzine vetra 20 m/s, dobijaju umanjene ili preuveličane vrednosti dodatnog opterećenja usled vetra. Zbog toga se preporučuje, da se pri izračunavanju verovatnoće za intervale brzina vetra 20 m/s i veće koristi sledeća formula:

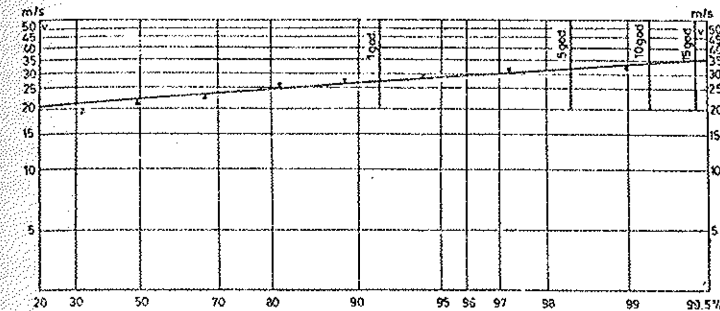
$$F(v) = F_1(v) + \frac{F_2(v) - F_1(v)}{4} \qquad (2.6)$$

$F_1(v)$ i $F_2(v)$ su minimalna i maksimalna verovatnoća računate maksimalne brzine vetra.

Za praktičnu primenu funkcije raspodele verovatnoće računate maksimalne brzine vetra koristi se dijagram sa koordinatnim sistemom: na ordinati je logaritamska skala, a na apscisi dvojno-logoritamska. Vertikalne prave su vremenski periodi koji se primenjuju, prema propisima, posebno za svaku grupu gradjevinskih objekata i konstrukcija. Naši propisi uglavnom predvidjaju za većinu objekata i konstrukcija periode od 5, 10, 15, 20, 25 i 50 godina; ovi odgovaraju verovatnoćama na dijagramu:

-za 5 godina: 98.33% -za 10 godina:99.165%
-za 15 godina: 99.445% -za 20 godina:99.58%
-za 25 godina: 99.67% -za 50 godina:99.83%

Na sl. 2.13. prikazan je dijagram sa ucrtanom pravom ekstrapolacije prema podacima o vetru za meteorološku opservatoriju Zeleno Brdo (Beograd).



Sl. 2.13. Ekstrapolisani podaci o vetru za Beograd

Radi primera, prikazuje se tabela 2.1 o raspodeli mesečnih maksimalnih brzina vetra u toku 10 godina, period 1959.-1976., za Z.Brdo,sa izdvojenim brojem slučajeva, rednim brojem i srednjim rednim brojem, a zatim, izračunate integralne verovatnoće prema formuli (2.4).

Tabela 2.1

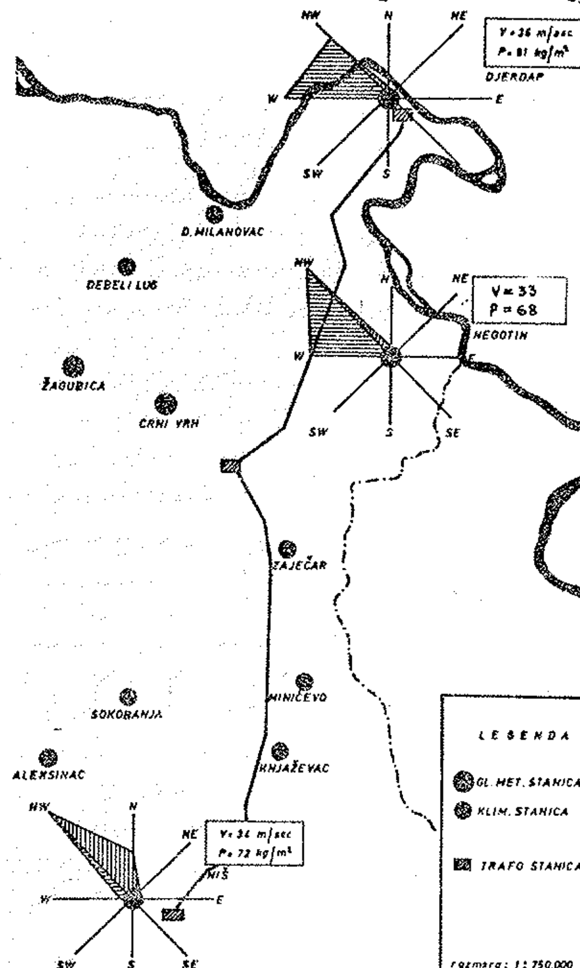
Podaci potrebni za grafikon verovatnoće računate maksimalne brzine vetra,Beograd (Zeleno Brdo)

Brzina vetra m/s	13.0	15.0	17.0	19.0	21.0	23.0	25.0	27.0	29.0	31.0	33.0
Broj slučajeva	3	6	16	16	17	22	9	8	4	2	1
Redni broj	1–3	4–9	10–25	26–41	42–58	59–80	81–89	90–97	98–101	102–103	104
Srednji red.br.	2	6	17	33	50	69	85	93	99	102	104
Integralna verov. u %	2.0	5.7	16.0	31.4	47.6	65.7	80.9	88.5	94.2	97.1	99.0

Izračunate integralne verovatnoće iz tabele 2.1 za svaku osmotrenu brzinu vetra nanose se u vidu tačaka na grafikon verovatnoće.

Kao što se vidi iz grafikona (sl. 2.13.) verovatnoće računate maksimalne brzine vetra koje se javljaju jednom u 5, 10 i 15 godina iznose: 32, 34 i 35 m/s.

Polazni materijal iz koga su izdvojene mesečne maksimalne brzine vetra koristi se i za analizu čestine javljanja mesečnih maksimalnih brzina vetra iz osam glavnih pravaca. Na kartama pogodnih razmera sa ucrtanim objektom ili konstrukcijom i meteorološkim stanicama, unose se ruže mesečnih maksimalnih brzina i vrednosti predloženih opterećenja usled dejstva vetra.



Sl.2.14.Trasa dalekovoda-Niš-Djerdap sa meteorološkim podacima

Na sl.2.14. prikazana je trasa DV 380kV sa ucrtanim vrednostima dodatnog opterećenja,izračunatog na osnovu izloženog metoda, i ružama mesečnih maksimalnih brzina.

Metod obrade podataka o vetru za potrebe projektovanja nadzemnih vodova,predložila je i Medjunarodna elektrotehnička komisija,tehnički komitet 11 (J.Popović,1982.Sarajevo).Metod obrade se

odnosi na konstrukcije koje nose nadzemne vodove nominalnog napona iznad 45 kV.

Za svako dodatno opterećenje postoji izvestan rizik loma konstrukcije. U zavisnosti od sigurnosti konstrukcije projektant vrši izbor rizika. Naime, rizik loma konstrukcije se računa iz raspodele primenjenog opterećenja i otpornosti konstrukcije. Vrednosti rizika loma se menjaju u zavisnosti od odnosa ove dve raspodele. Ako se kriva raspodele otpornosti udaljuje od raspodele opterećenja na konstrukciju rizik loma se smanjuje.

Vrednost opterećenja, koja se uzima za projektovanje konstrukcija nadzemnih vodova zavisi od klase sigurnosti. Postoje tri klase sigurnosti: u prvoj su opterećenja sa povratnim periodom od 50 godina i teorijskim rizikom loma 10^{-2}; u drugoj sa povratnim periodom od 150 godina i teorijskim rizikom loma $10^{-2.5}$ i u trećoj, sa povratnim periodom od 500 godina i teorijskim rizikom loma od 10^{-3}.

Prva klasa se normalno koristi, a u izvesnim slučajevima primenjuje se interpolacija. Za privremene konstrukcije uzima se klasa sigurnosti ispod prve klase.

Treba primetiti da je predloženi metod proračuna dodatnog opterećenja ograničen i odnosi se samo za nadzemne vodove sa dužinom raspona od 200 do 800 m, za visine stubova voda do 60 m iznad tla i za vodove koji se projektuju za nadmorske visine ispod 1300 m.

Osnovni podatak koji se koristi za proračun dodatnog opterećenja je brzina vetra izmerena na anemografu čiji je prijemnik postavljen na visini 10 m iznad tla. Ukoliko trasa dalekovoda prolazi kroz područja u kojima nema meteoroloških stanica koristi se brzina gradijentnog vetra. Ova se definiše kao brzina vetra na visini graničnog prizemnog sloja atmosfere.

Iz dijagrama anemografa očitavaju se maksimalne godišnje brzine vetra u 10 minutnom intervalu (V_m). Brzina jakog vetra koji se koristi za projektovanje (V_M) dobija se iz odnosa ovih brzina (V_M/V_m) posebno za svaku klasu sigurnosti voda i standardnu devijaciju maksimalnih godišnjih brzina vetra $\bar{V}_m$ a prema sledećoj tablici:

Klasa sigurnosti	$\sigma_{V_m}=0.12\ \bar{V}_m$	$\sigma_{V_m}=0.16\ \bar{V}_m$	$\sigma_{V_m}=0.16\ \bar{V}_m$
1	1.30	1.41	1.52
2	1.51	1.69	1.87
3	1.73	1.98	2.24

Nekoliko zemalja u Evropi koristi $\sigma_{V_m}=0.12\ \bar{V}_m$.

Brzine vetra moraju biti izmerene na meteorološkim stanicama koje nisu udaljene od trase voda. U slučaju da su udaljene uzima se gradijentni vetar.

Kako se najčešće trase vodova projektuju na terenima koji su udaljeni od meteoroloških stanica, ali u istim fizičko-geografskim uslovima, za projektovanje se koristi tzv.referentna brzina vetra (V_R) dakle, ona brzina koja bi se odnosila za terene preko kojih trasa voda prolazi. Ona se dobija na osnovu podataka o brzini jakog vetra (V_M) i koeficijenta o hrapavosti terena (K_R):$V_R=K_R\ V_M$. Vrednosti K_R zavise od karakteristika terena:

Karakteristike terena Koeficijent hrapavosti	A	B	C	D
K_R	1.08	1.00	0.85	0.67

Karakteristike terena daju se opisno:

A-niska ravna obala pored široke vodene površine; pustinje u ravnicama, ravni tereni bez prepreka i sl.

B-otvoreni tereni sa vrlo malim preprekama,kao što su močvare, obradjena polja i njive, tereni sa retkim kućama i sl.

C-tereni sa brojnim, ali ne visokim preprekama,kao što su tereni pokriveni drvećem, živicom, ogradama, manjim zgradama i sl.

D-predgradja gradova ili tereni sa brojnim visokim drvećem i preprekama i sl.

Posebnim propisom je regulisano da i tereni u naselju, preko kojih prolazi nadzemni vod, pripadaju D kateoriji.

Statistička raspodela godišnjih maksimalnih brzina vetra može se prikazati Gumbelovom aproksimacijom ekstremnih vrednosti po tipu I. Prema ovoj raspodeli verovatnoća P(V) da će brzina vetra preći vrednosti V daje se sledećim izrazom:

$$P_{(V)} = 1 - exp\left[exp\left(\frac{\pi}{\sqrt{6}} \cdot \frac{V - \bar{V} + 0.45\sigma_V}{\sigma_V}\right)\right]$$

$\bar{V}$-srednja višegodišnja brzina vetra u periodu od n godina;

σ_V-standarno odstupanje maksimalnih godišnjih brzina vetra;

Srednju vrednost maksimalnih brzina vetra možemo dobiti i iz desetogodišnjeg niza registrovanih podataka, medjutim, standardnu devijaciju treba odredjivati iz znatno dužeg višegodišnjeg niza, najmanje 20 godina.

Uopšte dejestvo vetra na jedinicu elementa voda (a) bilo da se radi o provodnicima ili izolatorima, celom ili jednom delu nosača, računa se pomoću izraza:

$$a = q_o \cdot C_x \cdot G$$

ovde je q_o -dinamički pritisak $(=\frac{1}{2}\rho V_R^2)$

C_x-aerodinamički koeficijent posmatranog oblika elementa;G-rafalni udar vetra sa turbulencijom. Menja se u zavisnosti od dinamičke reakcije posmatranog elementa i njegove visine iznad tla, a za provodnike i od dužine raspona.

Opterećenje vetra na stubove dalekovoda zbog uticaja vetra na provodnike (A_c) raspona L u tački vešanja na svaki stub raspona i normalno na raspon daje se jednačinom:

$$A_c = q_o \cdot C_{xc} \cdot G_c \cdot d \cdot \frac{L}{2} \sin^2\psi$$

q_o je dinamički pritisak; C_x-aerodinamički koeficijent oblika za standardne provodnike i brzine vetra jednaka 1. G_c-udarni faktor vetra sa turbulencijom i dinamičkim uticajem na provodnik. Ovaj se dobija za svaku karakteristiku terena posebno, i zavisi od visine provodnika iznad tla i dužine raspona od 200 do 800 m. Tako na primer, ako je karakteristika terena A, visina provodnika 40 m iznad tla i dužina raspona 400m,G_c je 2.0. Za isti provodnik i raspon, ali za terene sa karakteristikom C,G_c je 2.58, a za karakteristiku terena D ovaj faktor je čak 2.83.

Ako su provodnici u snopu,ukupni uticaj vetra jednak

je sumi uticaja na oba provodnika, bez ikakvog smanjenja uticaja zbog zaklanjanja jednog provodnika drugim.

Opterećenje vetra na izolatore(A_i) u tački vešanja izolatora za stub, a u pravcu vetra, računa se pomoću formule:

$$A = q_o \cdot C_{xi} \cdot G_i \cdot S_i$$

q_o -dinamički pritisak vetra,

C_{xi} -aerodinamički koeficijent, uzima se 1.2,

G_i -faktor udarnosti,

S_i -horizontalno projektovana površina izolatorskog lanca na vertikalnu površinu koja je paralelna osi lanca.

Opterećenje vetra na stub je različito i zavisi od vrste stuba. Uzećemo najčešće vrste, rešetkaste stubove i stubove sa cilindričnim elementima.

Za rešetkasti stub pravougaonog preseka, opterećenje usled vetra (A_T), u pravcu rešetke, na panel visine h, primenjeno na centar gravitacije panela, koji je izradjen od različitih štepova, računa se prema formuli:

$$A_T = q_o (1 + 0.2 \sin^2 2\theta)(S_{T1} \; C_{XT1} \; \cos^2\theta + S_{T2} \cdot C_{XT2} \cdot \sin^2\theta)\, G_T$$

q_o-dinamički referentni pritiska, kao i u prethodnim proračunima;

θ -ugao pod kojim deluje vetar u horizontalnoj projektnoj projekciji na lice 1 panela stuba;

S_{T1} -ukupna površina lica 1 (štapovi na licu panela 1) istog panela;

$C_X T_1 \; C_X T_2$ -koeficijenti pritiska koji se odnose na lice 1 i 2 za vetar pod pravim uglom na svako lice. Ove vrednosti se dobijaju iz dijagrama za panele stuba gde su svi ili deo štapova, otvoreni ravni profili ili gde su svi kružnog preseka.

G_T-udarni faktor u funkciji visine z, centra gravitacije i preseka iznad zemljine površine.

Za stubove izradjene od cilindričnih elemenata koji imaju dijametar veći od 20 cm (A_{TC}) uticaj vetra u pravcu rešetke na svaki elemenat dužine (l) u centru gravitacije elementa računa se prema formuli:

$$A_{TC} = q_o \cdot C_{XTC} \cdot G_T \cdot d \cdot l \cdot \sin^3\phi$$

q_o-dinamički referentni pritisak; ϕ -ugao izmedju pravca vetra i ose cilindra; d-prečnik cilindra; l-dužina elementa; G_T-udarni faktor u funkciji visine z, centra gravitacije elementa iznad zemljine površine. $C_x T_x$ udarni koeficijent vetra normalno na osu cilindra. Vrednosti $C_x T_x$ zavise od Rejnoldsovog broja(R_e), turbulencije i hrapavosti cilindra, a ovaj se računa:

$$R_e = \frac{d\sqrt{2 \cdot q_o \cdot G_T / \varsigma}}{V}$$

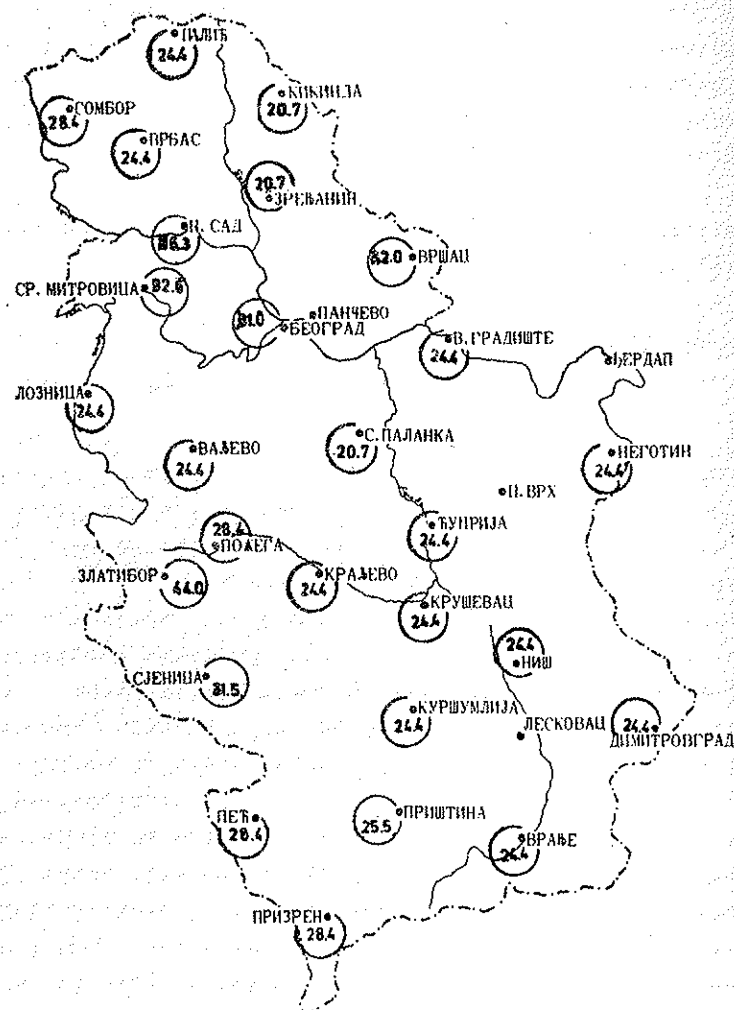
ς-zapreminska masa vazduha, a V-kinematički viskozitet vazduha ($V=1.45 \cdot 10^{-5}$ m²/s pri 15°C).

2.4 Odnos brzine vetra vizuelno i pomoću registrirnog instrumenta (anemografa)

Na teritoriji SR Srbije, kao što je već pomenuto, znatno je veći broj meteoroloških stanica na kojima se pravac i brzina vetra osmatraju vizuelno, od oka, opisujući pojave ili merenjem Vildovim vetrokazom, nego na kojima se meri vetar pomoću registrirnih instrumenata (anemografa).

Brzine vetra osmotrene vizuelno su ograničene, odgovaraju uvek nekom intervalu, a njaveća osmotrena brzina je 28.4 m/s. Na sl. 2.15. prikazani su apsolutni maksimumi brzine vetra na teritoriji SR Srbije, (R.Vujičić,1963).Lako je primetiti da se apsolutni maksimum brzine vetra za period 1947-1962. za neke stanice, poklapa u desetim delovima, na primer 24.4. 2o.7 ili 28.4. Ovi su podaci o vetru dobijeni sa meteoroloških stanica koje osmatraju Vildovim vetrokazom. Da bi se i ovakvi podaci o vetru iskoristili za potrebe projektovanja može se primeniti prethodno izloženi metod integralne verovatnoće računate mesečne maksimalne brzine vetra ili uporednim merenjima tražiti odnose maksimalnih jačina vetra (prema Boforovoj lestvici) i maksimalnih brzina izmerenih anemografima u sličnim fizičko-geografskim područjima.

U svom radu B.Kirigin (1977.) je izložio ove odnose i ukazao svim korisnicima podataka o brzini vetra "da se vizuelnim merenjima jačine vetra nikada ne mogu postići one vrednosti koje su zabeležene instrumentalnom registracijom".Do većih razlika dolazi:



Sl. 2.15. Maksimalna brzina vetra u periodu 1949.-1962.godine

a) zbog toga,što veći broj klimatoloških stanica odredjuje redovno jačinu vetra samo u terminima 07. 14 i 21 čas.

b) što samo manji broj klimatoloških stanica daje podatke o vetru jačine 6 i 8 Bofora izvan termina osmatranja.

c) zbog toga. što udari vetra tokom noći.a češće i po danu. zbog naglih kratkotrajnih skokova. ostaju nezabeleženi.

Na osnovu prvih rezultata merenja srednje i maksimalne brzine vetra pomoću anemografa, koji su bili postavljeni u obalnom području, kao i unutrašnjosti SR Hrvatske, bilo je moguće da se nadje odnos izmedju vizuelnog odredjivanja jačine vetra, a koji se zasniva na efektu vetra prouzrokovanog jednim dužim trajanjem i instrumentalnog maksimalnog udara vetra, koji je zabeležen kod odredjenog stupnja jačine prema Boforovoj lestvici.

Prema internacionalnim meteorološkim propisima pojedinim stupnjevima Boforove skale odgovaraju intervali srednjih brzina vetra u m/s. Uz predpostavku (koja je u praksi dala dobre rezultate) da je za ove srednje brzine moguće uzeti prvu aproksimaciju srednje časovne brzine vetra,koje su utvrdjene pomoću anemografa, bilo je moguće odrediti vezu izmedju jačine vetra i maksimalnih udara vetra koji su bili utvrdjeni kod odredjene srednje časovne brzine vetra. Prema ovoj metodi dobila se sledeća relacija:

$$V_M = B_S + \frac{3\Delta}{2} \qquad (2.7)$$

u kojom su: V_M-maksimalni udar vetra m/s; B_S-srednja brzina vetra za pojedine stupnjeve Boforove skale; Δ-razlika izmedju maksimalnih udara vetra (V_M) i maksimalnih srednjih časovnih brzina vetra utvrdjenih anemografom.

Vrednost za Δ se menja za pojedina klimatska područja tako, da prima vrednosti:

Δ=10-za područje u unutrašnjosti gde se pojavljuju kratkotrajni poremećajni uz grmljavinske pljuskove,

Δ=11-za prelazna područja gde se već delom pojavljuju vetrovi s jačim udarima (Gorski Kotor,Lika),

Δ=12-za područje obalnog dela Istre i spoljšanjih ostrva Hrvatskog primorja, Ravni kotarima, Dalmatinske zagore i duž obale srednjeg i južnog Jadrana,

Δ=13-za područje Krasa, severnog dela Istre i Hrvatskog primorja.

Da bi se dobili što realniji podaci o maksimalnim udarima vetra za potrebe projektovanja potrebno je da posmatrano razdoblje bude što duže i kontinuirano. Za stanice koje ne raspolažu anemografima utvrde se posebno za svaku godinu godišnje maksimalne jačine vetra i prema relaciji (2.7) za odredjena područja se izračunavaju maksimalni godišnji udari vetra (m/s).

Ovim metodom može se dobiti za sva mesta, koja pravilno odredjuju jačinu vetra prema Boforovoj lestvici dopunski podaci o maksimalnoj brzini vetra.

Metod utvrdjivanja verovatnoće pojave na tzv.grafikonu verovatnoće, gde apscisa predstavlja skalu Laplace-Gauss-ovog integrala (procenat verovatnoće %), a ordinata je data u logaritamskom merilu (brzina vetra m/s), dolazi do jednostavnih statističkih obrada koje se primenjuju za projektovanje, da se za vremenski razmak pri proračunima uzima 5, 10 i 15 godina.

Sve raspoložive zabeležene maksimalne udare vetra, treba srediti u padajući niz brojeva i prema proceni verovatoće:

$$P = \frac{m - 0.5}{n} \, 100\%$$

gde je m-redni broj podataka, a n-ukupan broj podataka. Nanošenje odgovarajućih ordinata u zavisnosti od rastuće verovatnoće dobija se niz tačaka izmedju kojih se može ucrtati pravac. Iz preseka ucrtanog pravca s različitim verovatnoćama može se odrediti pojava koja se javlja prosečno svakih 5,10 i 15 godina.

Primenom relacije (2.7) u praksi se pokazalo da se za područje sa veoma jakim udarima vetra, pretvaranjem vrednosti jačina vetra u maksimalne udare vetra, dobijaju veoma dobre vrednosti i kod manjih jačina vetra. Medjutim, u prelaznom području a naročito u unutrašnjosti, dolazi do većeg odstupanja od stvarnih izmerenih brzina vetra pomoću anemografa.

Zbog toga se za svaku vrednost u priloženoj tabeli izvodila pregledna tabela 2.2 pomoću koje se može za svaki stupanj Boforove skale odrediti vrednost za Δ i maksimalni udari vetra u m/s (V_M).

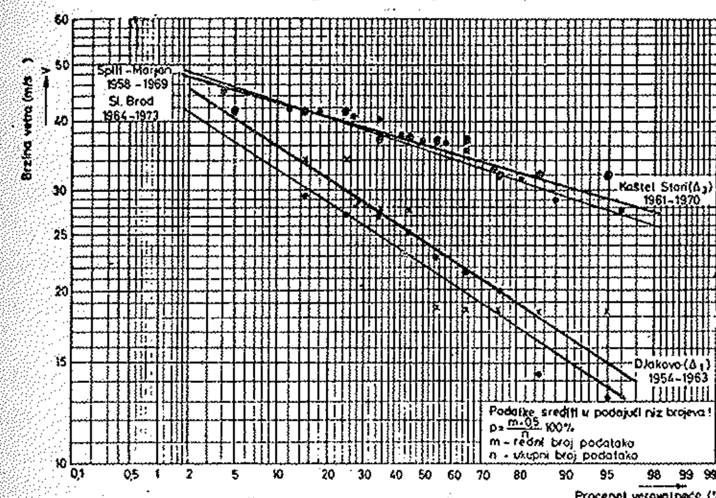
Tablica 2.2

Odredjivanje maksimalnih udara vetra u m/s (V_M) prema pojedinim vrednostima za Δ i srednje brzine vetra u m/s (B_S) za odredjeni stupanj Bofora (B)

B	Srednja brzina vetra B_S	Δ_1	$(3/2)\Delta$	V_M	Δ_2	$(3/2)\Delta$	V_M	Δ_3	$(3/2)\Delta$	V_M	Δ_4	$(3/2)\Delta$	V_M
5	9,3	2	4,0	13,3	5	7,5	16,8	8	12,0	21,3	11	16,5	25,8
6	12,3	4	6,0	18,3	8	12,0	24,3	10	15,0	27,3	12	18,0	30,3
7	15,5	8	12,0	27,5	10	15,0	30,5	11	16,5	32,0	13	19,5	35,0
8	19,0	10	15,0	34,0	11	16,5	35,5	12	18,0	37,0	13	19,5	38,5
9	22,6	10	15,0	37,6	11	16,5	39,1	12	18,0	40,6	13	19,5	42,1
10	26,4	10	15,0	41,4	11	16,5	42,9	12	18,0	44,4	13	19,5	45,9
11	30,6	10	15,0	45,6	11	16,5	47,1	12	18,0	48,6	13	19,5	50,1
12	34,8	10	15,0	49,8	11	16,5	51,3	12	18,0	52,8	13	19,5	54,3

Na sl.2.16. je prikazan grafikon verovatnoće pojave maksimalnih udara vetra za neka različita područja i to za stanice koje su registrovale vetar pomoću anemografa i za stanice koje su odredile vizuelno maksimalnu jačinu vetra u Boforima,a pomoću relacije (2.7) su izračunati maksimalni udari vetra u m/s (V_M).

U svrhu utvrdjivanja stvarne vrednosti predložene relacije za odredjivanje maksimalnog udara vetra u m/s na izradjenom grafikonu su uz podatke klimatoloških stanica, koje su osmatrale jačine vetra samo u boforima (Djakovo i Kaštel Stari) nanesene vrednosti maksimalnih brzina vetra registrovanih pomoću anemografa (Sl.Brod i Split-Marjan).



Sl.2.16. Grafikon verovatnoće pojave maksimalnih udara vetra za područje unutrašnjosti (Sl.Brod i Djakovo) i deo obalnog područja srednjeg i južnog Jadrana (Split-Marjan i Kaštel Stari)

S obzirom da je u jednom 10-godišnjem nizu osmatranja moguća pojava od svega 3-4 stepena Bofora, proizilaze prilikom pretvaranja bofora u m/s veća odstupanja tačaka u pravcu a i b.

Dobijene vrednosti daju korisnu pomoć za ocenjivanje maksimalnih udara vetra na odredjenim klimatskim područjima.

Kasnija sistematska istraživanja trebala bi da potvrde ispravnost i uptrebljivost maksimalnih brzina vetra izračunatih iz zabeleženih maksimalnih jačina vetra utvrdjenih vizu-

elno po Boforovoj lestvici.

2.5 Raspodela brzine vetra sa visinom

Da bi se odredili podaci za potrebe projektovanja potrebno je izračunati brzinu vetra na različitim nivoima u prizemnom sloju atmosfere kod stvarnih visina gradjevinskog objekta ili konstrukcije. Potrebno je upoznati raspodelu brzine vetra sa visinom za svako karakteristično područje. Veliki uticaj trenja u prizemnom sloju vazduha zahteva da se pri preračunavanju brzine vetra sa visinom uzimaju u obzir hrapavost i neravnine terena na kojem se vrše merenja pravca i brzine vetra.

Osim trenja, na promenu brzine vetra sa visinom utiče i turbulentna razmena. Intenzitet turbulentne razmene zavisi od stratifikacije atmosfere, odnosno od raspodele temperature sa visinom i drugih osobina vazdušnih masa.

Intenzivnija turbulentna razmena u vertikalnom pravcu smanjuje razlike temperature, a zbog toga, pri nestabilnoj stratifikaciji, brzina vetra sa visinom lagano raste ili se ne menja, ili čak i opada. Medjutim, pri stabilnoj stratifikaciji sporija je turbulentna razmena i mnogo je brža promena brzine vetra sa visinom.

D.L.Lajhtman (1944.) je uopštio zakon raspodele brzine strujanja nestišljive tečnosti i blizini hrapavog zida i primenio na uslove raspodele vazdušnih čestica na zemljinoj površini. Za izmenu brzine vetra sa visinom dobio je sledeću formulu:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{h_1^{1-K} - z_0^{1-K}}{h_2^{1-K} - z_0^{1-K}} \qquad (2.8)$$

V_1 i V_2 su brzine vetra na visinama h_1 i h_2; k-koeficijent koji zavisi od stratifikacije atmosfere; veličina Z_0 pokazuje uticaj neravnine podloge, hrapavosti terena na kome se vrše merenja.

Pri ravnotežnom stanju atmosfere i pri brzini vetra većoj od 8-10 m/s, a to su vrednosti koje odgovaraju mesečnim maksimumima i značajnije su za proračun pritiska vetra pri projektovanju (koeficijent K je približno jednak 1), prethodna formula se može dati u poznatom logoritamskom odnosu:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{\lg \frac{h_1}{z_0}}{\lg \frac{h_2}{z_0}} \qquad (2.9)$$

V_1-brzina vetra na visini h_1-potrebnoj visini za projektovanje; V_2-brzina vetra izmerena na visini anemografa; Z_0-parametar hrapavosti koji zavisi od neravnina na površini tla. U tablici 2.3 prikazane su vrednosti Z_0 za različite zemljine površine (podloge).

Tablica 2.3

Parametar hrapavosti Z_0 za različite površine zemljišta (GGO,Leningrad)

Opis različitih površina zemljišta (podloge)	Parametar hrapavosti zemljišta Z_0 (cm)
1. Površina snega	0.5
2. Crni ugor	1.0
3. rastinje, visine 0 5 cm	1.0
4. " " 6-10 cm	2.0
5. " " 11-20 cm	3.0
6. " " 21-60 cm	4.0
7. " " 51-130 cm	5.0
8. gusto visoko šiblje	10-20
9. šuma, grad	100-200

Za raspodelu brzine vetra sa visinom pored logaritamskog odnosa primenjuje se takodje empirijski eksponencijalni odnos:

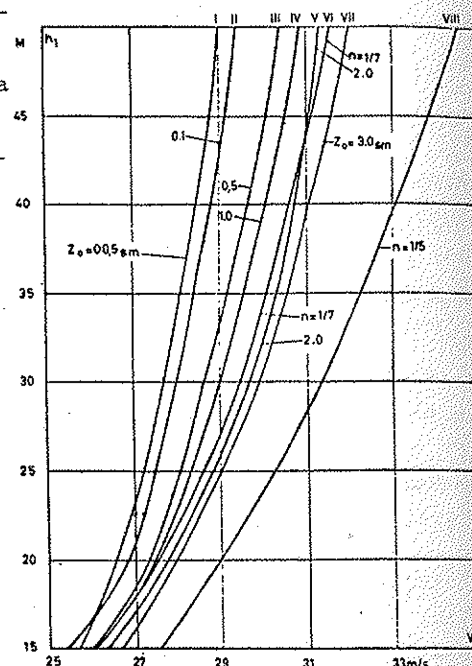
$$\frac{V_1}{V_2} = \left(\frac{h_1}{h_2}\right)^n \qquad (2.10)$$

V_1-brzina vetra na visini h_1,visini potrebnoj za projektovanje V_2-brzina vetra na visini h_2, odnosno brzina na visini anemografa.

Na sl.2.17. prikazan je odnos izmedju brzine vetra i visine, izračunate po formulama (2.9 i 2.10) a za različite parametre hrapavosti terena i stepene (n) od 1/5 do 1/7. Za polaznu vrednost je uzeta brzina vetra od 25 m/s na visini 10m iznad tla.

Lako je videti da koeficijent hrapavosti podloge

bitno utiče na raspodelu vetra sa visinom. Ako se uzme eksponencijalna zavisnost sa stepenom 1/5 dobija se prekomerno povećanje brzine vetra sa visinom. Za potrebe projektovanja visokih objekata, uglavnom se koristi stepen 1/7 (praktično odgovara parametru hrapavosti Z_0=1) i koristi se za visine od 25 m iznad tla, a Z_0 =2 za veće visine. Na taj način, moguće je sa dovoljnom tačnošću dobiti raspodelu brzine vetra sa visinom za odredjene podloge. Ovaj odnos koristi se i pri projektovanju visokih objekata u SAD (ANS,1972)



Sl.2.17. Promena brzine vetra sa visinom pri V=25 m/s i h=10m (VNIIE,1962)

2.5.1 Uticaj reljefa i šume na vetar

Poznato je da se vazdušna struja deformiše pri susretu sa različitim neravnimana na zemljinoj površini. Opažaju se lokalna pojačanja ili slabljenja brzine vetra, a isto tako i promene pravca vetra.

Ispresecani mesni reljef, slično nekoj prepreci na putu vazdušnoj struji, neposredno utiče na brzinu vetra pri čemu promena brzine vetra sa visinom može biti vrlo nagla. Zbog toga pri izračunavanju opterećenja za objekte ili dalekovode koji se grade na ispresecanom terenu, moraju se uzeti u obzir uticaji mikroreljefa, visina i izloženost objekta vetru.

Vazdušne struje pri susretu sa preprekom ne samo da prelaze preko nje, već je i optiču zbog čega nastupa zgušnjavanje strujnica koje ima za posledicu povećanje brzine vetra.

U planinskim krajevima veliki praktični značaj predstavlja poznavanje brzine vetra na prevojima, tj. na nižim mestima planinskih grebena. U takvo sedlo "ustremljuje" se vazdušna struja, što omogućuje stvaranje jakog vetra, naročito u onim slučajevima kada se planinski greben pruža normalno na pravac vetra. Pravac jakih vetrova na prevojima mora se uzeti u obzir pri projektovanju.

Udubljeni oblici reljefa različito utiču na brzinu i pravac vetra. Tako, u klisurama i klancima, dolinama i sličnim mestima kada se njihov pravac ne poklapa sa pravcem preovladjujućeg vetra, vetar je znatno slabiji. Klisure i doline postaju prirodni koridori kroz koje se "usmeravaju" vazdušne struje. Jaki vetrovi nastaju kada vazdušna struja duva duž doline ili klisure. Karakteristični pravac ovakvih jakih vetrova takodje se mora uzeti u obzir pri projektovanju objekata.

Da bi se dobio kvantitativan odnos izmedju brzine vetra na visini anemografa (10 metara) i nad različitim oblicima reljefa, potrebni su podaci specijalnih terenskih merenja i ispitivanja. Uticaj različitih oblika reljefa na brzinu vetra prikazan je u tabl.2.4. Podaci su dobijeni na ogledno-istraživačkoj stanici Glavne geofizičke opservatorije iz Lenjingrada (1962).

Ovakva ispitivanja omogućuju da se dobiju koeficijenti za preračunavanje brzine vetra za različite oblike reljefa u odnosu na brzinu vetra na otkrivenom ravničarskom mestu.

Pored reljefa na brzinu vetra utiču i šume. Mnoga ispitivanja stranih autora pokazuju da šumski masivi sprečavaju prodiranje vazdušnih masa. Deo vazdušne mase koja stigne u šumu naglo se zaustavlja, posebno u krošnjama drveća. Prema ispitivanjima R.Gajgera (1957.) dobijena je raspodela brzine vetra sa visinom u šumu. U tabl.2.5. prikazani su rezultati osmatranja. Rezultati ovih osmatranja pokazuju da uticaj šume na brzinu vetra može biti značajan i različit, u zavisnosti od vrste i mesta u šumi gde se gradi objekat. Treba primetiti da ukoliko se objekat gradi u šumi, vetar neće potpuno izčeznuti. Ovde se obrazuju tzv."prateće"struje, paralelno osnovnoj struji iznad šume, koja kao da se odstranjuje od podloge prema kruni drveća. Promena brzine vetra sa visinom iznad krune dr-

veća ista je kao i kod neporemećene vazdušne struje na otvorenom terenu. Medjutim, unutar šume za promenu brzine vetra sa visinom, uzimajući za Z_0 veće vrednosti za neravninu (hrapavost terena).

Tablica 2.4

Promene brzine vetra u zavisnosti od oblika reljefa, (VNIIE, 1962.)

Oblik reljefa	U odnosu na brzinu vetra izmerenu na otvorenom ravničarskom terenu	Karakteristika nagiba terena
1. Vrh strme visoravni	1.3-1.4	strmina 7-12
2. Vrh blago nagnutog brda	1.1	strmina 4-6
3. Privetrinske padine brda sa vetrom duž padine:		
-gornji deo padine	1.2-1.4	gornji deo strmine 5-10m ispod vrha
-srednji deo padine	1.1	
-donji deo padine	1.0	
4. Zavetrinske padine brda:		
-gornji deo padine	1.1	srednji deo strmine lo-2om ispod vrha
-srednji deo padine	0.9	ravnomerni pad strmine 8-10
-donji deo padine	0.7	donji deo strmine

Tablica 2.5

Promena brzine vetra sa visinom u šumi (VNIIE, 1962.)

Visina iznad zemljine površine u m	Mesto na kome se nalazio anemograf	Srednja brzina vetra m/s
16.85	Iznad vrhova drveća	1:61
13.70	U gornjem delu krošnje drveća	0.90
10.55	U gornjem delu ispod krošnje	0.69
7.40	U sredini šume	0.67
1.10	Iznad šumskog zemljišta	0.60

Ovakva ispitivanja, u našoj zemlji vršena su vrlo retko, pa se pri proračunu brzine vetra sa visinom najčešće koriste vrednosti parametara koje nalazimo u literaturi. Potrebno je izvršiti ispitivanja na različitim karakterističnim terenima u našoj zemlji kako bi se dobila raspodele srednje brzine vetra, a takodje i čestine javljanja odredjenih brzina

u zavisnosti od pošumljenosti terena.

2.6 Podaci o dejstvu vetra na objekte

Na osnovu Zakona o tehničkim merama ("Sl.list SFRJ br. 12/65") izradjeno je više Pravilnika o tehničkim merama, normama i uslovima za projektovanja i izvodjenje gradjevinskih objekata i konstrukcija, i u kojima se nalaze propisi o odredjivanju dodatnog opterećenja usled dejstva vetra. Tako imamo "Pravilnik o tehničkim propisima o dejstvu vetra na noseće čelične konstrukcije" (Sl.list SFRJ broj 41/64), u kome su i propisi o dejstvu vetra na zgrade i posebne odredbe o uticaju vetra na mostove, stubove dalekovoda i naročite konstrukcije. Posebni pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih električnih vodova (Sl.list SFRJ broj 51/73) obuhvata u delu "klimatski uslovi" propise o odredjivanju opterećenja od vetra na nadzemne električne vodove.

Prema tehničkim propisima o dejstvu vetra na noseće čelične konstrukcije, dejstvo vetra se odredjuje kao horizontalno opterećenje na konstrukciju i pomenute objekte. Pri proračunu se uzimaju sve njihove strane podjednako, kao da dejstvo vetra deluje u bilo kom horizontalnom pravcu. U posebnom slučaju proračun se vrši i za pravac vetra koji sa horizontalom zatvara ugao 15°.

Površine ovih objekata mogu biti izložene dejstvu vetra: neposredno (okrenute prema vetru ili privetrinske) i posredno (paralelno sa pravcem dejstva vetra ili površine u zavetrini).

Veličina dejstva vetra na konstrukciju i zgrade, kao i na druge objekte zavisi od više činilaca:

1. Brzine, pravca i udarnog dejstva vetra,

2. Konfiguracije terena, zaštićenosti objekta u odnosu na okolinu i drugih sličnih uslova,

3. Oblika i dimenzije elementa odnosno konstrukcije i položaja elementa u odnosu na konstrukciju i na pravac vetra.

Uticaji od kojih zavisi veličina dejstva vetra, a koji zavise od činilaca iz tač. 1. i 2., odredjeni su veličinom osnovnog opterećenja, a iz tač. 3. koeficijentom oblika elementa odnosno konstrukcije.

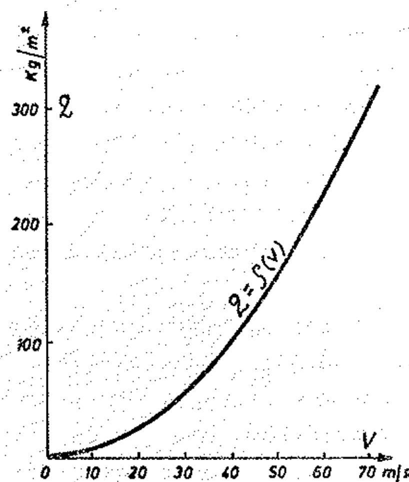
2.6.1 Osnovno opterećenje

Odnosno opterećenje usled vetra odredjuje se jednačinom

$$q = \frac{a}{g} \cdot \frac{V^2}{16}, \; (kg/m^2) \qquad (2.11)$$

$a/g = 1/8 \, (kg\, s^2 m^{-4})$ je odnos specifične težine vazduha pri 15°C, barometarskom pritisku 1013.2 mbara i ubrzanju sile teže (g).

Grafički prikaz osnovnog opterećenja od vetra prikazan je na sl.2.18.



Sl.2.18. Odnos osnovnog opterećenja (q) i brzine vetra (V)

Brzina vetra u jednačini (2.11) zavisi od:

1) Geografske zone brzine vetra;
2) Lokalnog položaja objekta i stepena zaštićenosti od dejstva vetra i,
3) Visine objekta.

Da bi se pravilnije ocenile okolnosti i time obezbedila sigurnost objekta, projektant mora da poznaje položaj budućeg objekta, konfiguraciju terena, okolne objekte a naročito reljef zbog vazdušnog strujanja prema objektu.U složenijim uslovima ispresecanog planinskog područja može doći do kanalisanosti vazdušnih strujanja, a tim i do veće brzine vetra prema objektu, odnosno do većeg pritiska vetra na objekat.

Projektant može računati osnovno dodatno opterećenje prema tablici 2.6.

Prema brzini vetrova koji u pojedinim krajevima vladaju, teritorija SFRJ deli se na tri geografske zone,od kojih je prva zona umerenog vetra, druga - jake košave i vardarca, i treća - jake bure.

Tablica 2.6

Veličina osnovnog opterećenja usled dejstva vetra

Redni broj	Visina površine terena koja je izložena dejstvu vetra	Stepen zaštićenosti objekta	Dejstvo vetra u daN/m² za geografske zone I	II	III
1.	do 10 m	zaštićen	30	40	55
2.		poluzaštićen	40	55	80
3.		izložen	45	70	110
4.	preko 10-30m	poluzaštićen	50	75	110
		izložen	60	90	130
5.	preko 30-60m	izložen	70	105	110
6.	preko 60-100m	izložen	80	120	170

Na sl. 2.19. prikazana je podela Jugoslavije na geografske zone brzine vetra.



Sl.2.19. Podela teritorije Jugoslavije na geografske zone brzine vetra

U treću zonu spadaju i svi otvoreni planinski krajevi gde je moguć nesmetan prilaz ma sa koje strane (koji se nalaze na nadmorskoj visini većoj od 800 m).

Prema stepenu zaštićenosti od vetra objekti se dele na:

1. Zaštićeni od vetra, ako su visine do 10 m i ako se podižu u naseljenim mestima izmedju visokih zgrada ili zidova, u gustim i visokim šumama ili na takvim mestima koja su potpuno i stalno zaštićeni od jakog vetra.

2. Poluzaštićeni od vetra, ako su visine do 30 m i ako se podižu u naseljima, šumama ili uvalama (kotlinama), koji su zaštićeni od najjačeg dejstva vetra.

3. Izloženi dejstvu vetra, ako se podižu na osamljenim nezaštićenim mestima (na bregovima ili u ravnicama) do kojih je moguć prilaz punog dejstva vetra ma sa koje strane.

Kako podaci o vetru, a naročito o maksimalnoj brzini vetra i čestinama javljanja jakog vetra po pravcima, bitno utiču na ekonomičnost gradnje neophodna je saradnja projektanta i meteorologa. Meteorolog treba da upozori projektanta o uticaju reljefa i konfiguracij i terena, o ekspoziciji objekta u odnosu na preovladjujući pravac jakog vetra, o promeni vetra sa visinom i uopšte, o režimu vetra na lokaciji budućeg objekta. Tehnička meteorologija daje podatke o brzinama vetra koji ulaze u proračun osnovnog opterećenja, a u zavisnosti od fizičko-geografskih i gradjevinskih parametara. Zbog toga, propisi predvidjaju "da projektant treba da dobije podatke i mišljenje" od nadležnog Republičkog hidrometeorološkog zavoda o režimu vetra na lokaciji budućeg gradjevinskog objekta i konstrukcije.

2.6.2 Stvarno opterećenje vetrom

Veličina stvarnog opterećenja usled dejstva vetra (W) izračunava se prema formuli:

$$W = C \cdot q \text{ , } daN/m^2 \qquad (2.12)$$

u kojom je: c-koeficijent oblika; q-osnovno opterećenje vetrom. Koeficijent oblika (c) se odredjuje prema vrsti konstrukcije.

2.6.3 Izračunavanje dejstva vetra

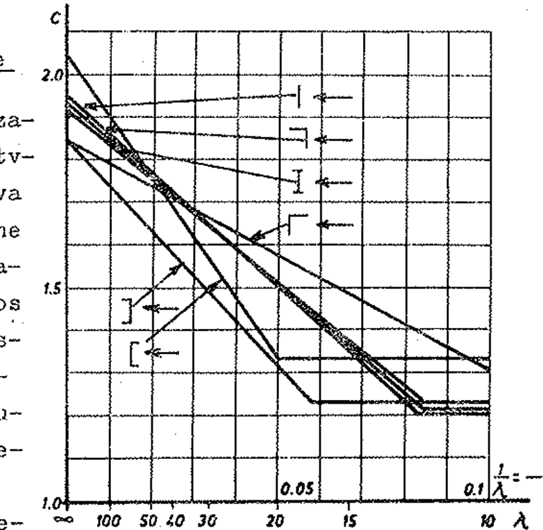
2.6.3.1 Dejstvo vetra na pojedine profile

Na osnovu istraživanja na modelu dobijeni su koeficijenti oblika (c) za pojedine profile. U propisima su date njihove vrednosti u zavisnosti od površine i izloženosti štapova. Posebno su izloženi koeficijenti oblika za kraće i dugačke štapove. Radi primera iznosi se na sl.2.20. grafički prikaz koeficijenta oblika (c).

2.6.3.2 Dejstvo vetra na rešetkaste nosače

Dejstvo etra na rešetku zavisi od odnosa izmedju stvarne površine svih štapova (F_s) i površine obuhvaćene spoljnom konturom rešetkastog nosača (F). Ovaj odnos naziva se "koeficijent ispune" (φ). Za tzv. približan proračun, ako vetar duva normalno na ravan rešetke, uzima se koeficijent oblika C=1.6, a dejstvo vetra se izračunava prema formuli:

$$W = C \cdot q \cdot F_s \quad (2.13)$$



Sl.2.20. Koeficijent oblika (c) za štapove

Medjutim, ako ravan rešetke zatvara sa pravcem vetra ugao α koeficijent oblika se odredjuje prema: $C = c \cdot \sin\alpha$, a opterećenje vetrom iznosi približno:

$$W_\alpha = C \alpha q F_s \text{ , } kg$$

Za tačnije proračune opterećenja rešetke vetrom koristi se formula: $W = \sum[(c \cdot l \cdot a) q]$, daN/m^2

u kojoj su: c-koeficijent oblika za pojedini štap u zavisnosti od njegove izduženosti; l-teorijska dužina pojedinog štapa; a-visina profila; q-osnovno opterećenje vetrom, koje se, s obzirom na visinu na kojoj je postavljen štap, računa prema iznetoj tablici ili posebno kao srednja vrednost, prema kriterijumima datim u Propisima. Propisi, dalje razmatraju dejstvo vetra na rešetke postavljene na različitim rastojanjima i sa različitim površinama.

2.6.3.3. Dejstvo vetra na rešetkaste stubove i tornjeve

Za opterećenje usled dejstva vetra na rešetkaste stubove i tornjeve koriste se sledeće formule:

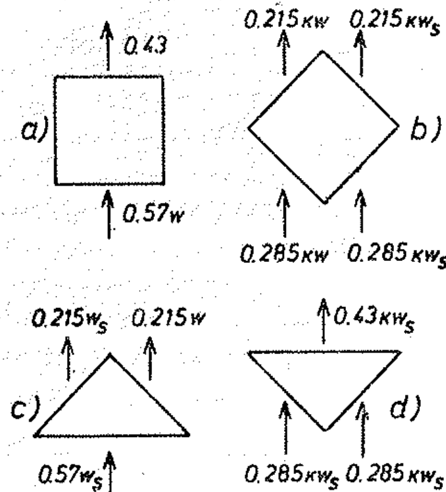
a) ako vetar duva normalno na jednu bočnu stranu stuba ili tornja (kao na sl.2.21, a i c) izračunava se formulom:

$$W = cqF \text{ , kg}$$

u kojoj su koeficijenti oblika (c): C=2.8 za stub od valjanih profila i c=2.0 za stub od cevi i okruglih profila.

b) Ako vetar duva u pravcu simetrale ugla izmedju dve bočne strane stuba (sl.2.21, a i d) koristi se sledeća formula:

$$W = K \cdot C \cdot q \cdot F_s \text{ , kg}$$



$W_s = cqF_s$

F_s stvarna površina štapova u odgovarajućoj bočnoj strani

Sl.2.21. Dejstvo vetra na pojedine bočne strane stuba

Za stubove i tornjeve sa trouglastom osnovom uzima se za K=1.0 do 1.1; za stubove i tornjeve sa kvadratnom osnovom uzima se za K= 1.1-1.2, u zavisnosti od broja profila.

Za tačnije proračune uzima se u obzir za svaki štap odgovarajući koeficijent oblika, a ukupno opterećenje iznosi:

$$W = (1+\eta) \sum (c \cdot q \cdot F_s) \text{, kg}$$

η -koeficijent zaklonjenja.

2.6.3.4 Dejstvo vetra na limene nosače

U zavisnosti od pravca vetra, zaklonjenosti i medjusobnog rastojanja limenih nosača, za koeficijent oblika uzimaju se vrednosti: 1.6 i 1.2.

2.6.3.5 Dejstvo vetra na zgrade

Dejstvo vetra na zatvorenju zgradu je ravnomerno raspored jeno i odgovara visini zgrade (najvišom tačkom) kao i stepenu zaštićenosti objekta u odnosu na položaj i zonu vetra.

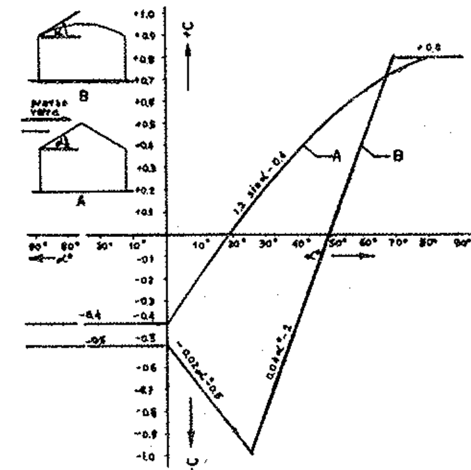
Treba uzeti u obzir da promena pravca vetra može imati znatno lokalno povećanje koeficijenta oblika.

Za vertikalne površine neposredno izložene dejstvu vetra, uzima se u obzir njegovo dejstvo pritiska sa koeficijentom: C=0.8. Medjutim, za ove površine, zbog dejstva sisanja C= -0.4.

Za kose površine koje su prema pravcu vetra nagnute koeficijent oblika se uzima prema dijagramu na sl.2.22.

Za različite oblike zgrada i krovne površine propisi detaljnije iznose vrednosti koeficijenta oblika i načine njegovog koriščenja kao i kriterijume za proračunavanje dodatnih opterećenja.

Za proračun dodatnog opterećenja, naročito za potpuno otvorene zgrade, propisi predvidjaju posebne tablice za koeficijente oblika za površine i to kod zgrada otvorenih sa jedne, dve i tri strane.



Sl.2.22. Dejstvo vetra na zatvorene zgrade

2.6.3.6 Dejstvo vetra na cilindrične konstrukcije

Pod cilindričnom konstrukcijom podrazumevaju se rezervoari, fabrički dimnjaci, okrugli stubovi, žice i kablovi.

Koeficijent oblika odredjuje se po tablici 2.5 zavisno od hrapavosti površine i izduženosti konstrukcije (h/d), odnosa izmedju njene visine i prečnika.

Tablica 2.6.

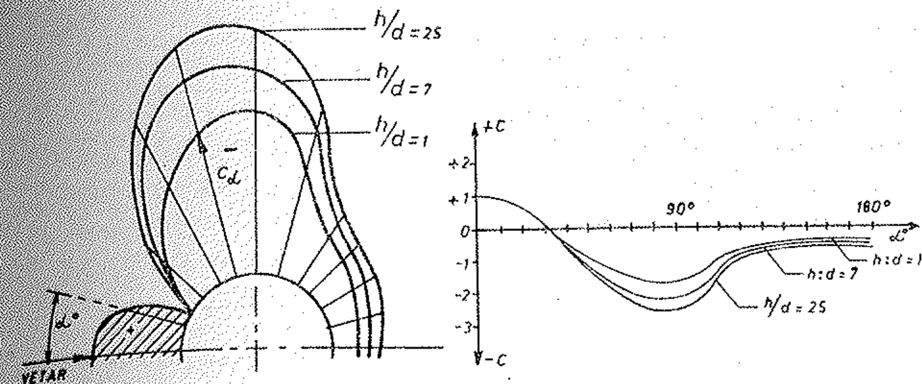
Primer	Izduženost h/d Koeficijent oblika c $d\sqrt{q} > 1.5$ $W = cqF\ (F = hd)$		25	7	1
1		srazmerno glatka površina (lim, drvo, beton)	0.55	0.5	0.45
2		srazmerno rapava površina (polukružna rebra h=2%d)	0.9	0.8	0.7
3		veoma rapava površina (šiljata rebra h'=8% d)	1.2	1.0	0.8
4		glatka i ravna površina	1.4	1.2	1.0

Za okrugle štapove, cevi, žice i kablove koeficijenti oblika dati su u tablici 2.6, a zavisno od $d\sqrt{q}$; d je prečnik u metrima, a q je osnovno dejstvo vetra (u kg/m²) za vitkosti h/d > 100.

Tablica 2.7.

Koeficijent oblika c za l/d >100 W = cqF (F=dl)	Uz predpostavku d q < 1.5	 > 1.5
Glatke žice, štapovi, cevi	1.2	0.5
Srazmerno rapave žice i štapovi	1.2	0.7
Provodnici i kablovi od finih žica	1.2	0.9
Provodnici i kablovi od grubih žica	1.3	1.1

Na sl.2.23. prikazano je kako se uzima pritisak i sisanje vetra na cilindričnu površinu. Vrednosti lokalnog koeficijenta oblika C_x date su u tablici 2.6 i na sl.2.24. zavisno od veličine cilindričnog ugla α. Sisanje vetra povećava se sa izduženošću. Pritisak, odnosno, sisanje u tački sa cen-



Sl.2.23. Sl. 2.24.

tralnim uglom α (sl.2.25). odredjuje se po obrazcu:

$$P_\alpha = C_\alpha \cdot 2$$

Sila vetra na konstrukciju u celini izračunava se pomoću koeficijenta oblika po tablici 2.5.

c)	+0.9	+1.3	+0.9
b)	-2.3	-2.0	-2.3
a)	-1.3	-1.0	-1.3

REZERVOAR KOJI PROPUŠTA VETAR (c, b)

Sl.2.25.

Opterećenje vetrom na krovne površine rezervoara treba računati sa koeficijentom oblika prema sl.2.25; ako je rezervoar takav da propušta vetar, treba dodati i unutrašnji pritisak ili unutrašnje sisanje. Sila dizanja deluje na strani sa koje duva vetar, i to na rastojanju 0.3γ od osovine rezervoara. Sl.2.26.

Tablica 2.7

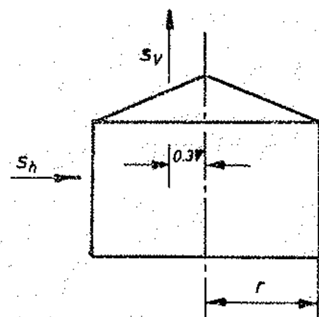
	h/d α	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°
$d\sqrt{q}>1.5$	25 cα	+1.0	+0.8	+0.1	-0.9	-1.9	-2.5	-2.6	-1.9	-o.9	-o.7	-o.6	-o.6	-o.6
	7 cα	+1.0	+0.8	+0.1	-0.8	-1.7	-2.2	-2.2	-1.7	-o.8	-o.6	-o.5	-o.5	-o.5
	1 cα	+1.o	+o.8	+o.1	-o.7	-1.2	-1.6	-1.7	-1.2	-o.7	-o.5	-o.4	-o.4	-o.4
lopta		+1.o	+o.9	+o.5	-o.1	-o.7	-1.1	-1.2	-1.o	-o.6	-o.2	+o.1	+o.3	+o.4

Za izračunavanje horizontalnog dejstva vetra na dimnjake uzimaju se za koeficijente oblika sledeće vrednosti:

a) za kvadratni presek: C_h = 1.2,

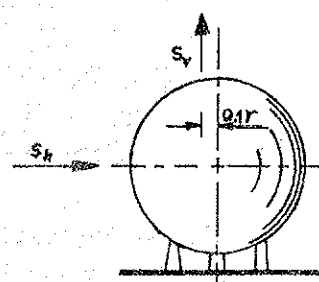
b) za pravougaoni presek: C_h = 0.75,

c) za kružni presek: C_h = 0.6/C_h - koeficijenti oblika u horizontalnom pravcu.



Sl.2.26.

Pri izračunavanju opterećenja vetrom sferičnih konstrukcija uzima se da je koeficijent oblika C_h=0.3 u horizontalnom pravcu, odnosno C_v=1.0 u vertikalnom pravcu (sl.2.27) predpostavlja se da je sila dizanja udaljena za 0.1r od vertikalne osovine lopte u pravcu odakle duva vetar.

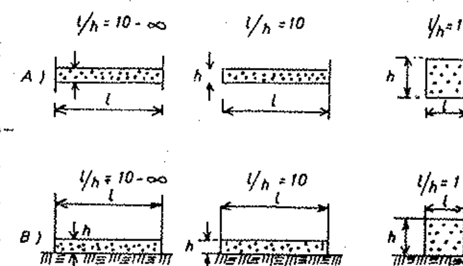


Sl.2.27.

Koeficijent oblika za ravne površine i zidove zavisi od toga da li su ploče i zidovi naslonjeni neposredno na teren (slučaj B na sl.2.28) ili su od njega izdignute (slučaj A na sl. 2.28.).Njegova vrednost, isto tako, zavisi i od odnosa dimenzija (l/h) i pravca vetra. Tablica 2.8 daje vrednost koeficijenta oblika za izvesne slučajeve.

2.6.3.7 Dejstvo vetra na mostove

Kod železničkih i drumskih mostova treba ispitati uticaj vetra na opterećeni most. Osnovno opterećenje vetrom i visina saobraćajne trake odredjuju se posebnim propisima za železničke odnosno drumske mostove.



Sl.2.28.

Tablica 2.8

	l/h=10	l/h=10	l/h=1
Slučaj A (izdignuto nad terenom)	2.0	1.3	1.15
Slučaj B (oslonjeno neposredno na teren)	1.2	1.2	1.1

Dejstvo vetra na neopterećeni most računa se po elementima za rešetkaste nosače, a što je već opisano u prethodnom delu.

Dejstvo vetra na opterećene mostove proračunava se na: pokretno opterećenje (saobraćajnu traku) sa koeficijentom oblika (C=1.2) i na samu konstrukciju prema tač. 2.6.3.2 i 2.6.3.3.

Propisi ističu da treba posvetiti naročitu pažnju dejstvu vetra na viseće mostove kod kojih su potrebna ispitivanja na modelima.

2.6.3.8 Dejstvo vetra na dalekovode

U Pravilniku o tehničkim merama za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova ("Sl.list SFRJ" br.51/73) opterećenje od vetra uzima se kao proizvod površine objekta,pritiska vetra,koeficijenta dejstva vetra i sinusa napadnog ugla. Prema tome, uzima se pravac vetra vodoravno, a opterećenje vetra upravno na napadnu površinu.

Pri utvrdjivanju dejstva vetra, za površinu objekta uzima se stvarna nezaledjena površina. Za rešetkaste stubove uzimaju se samo površine okrenute prema vetru.

Pritisak vetra se računa prema jed.2.13. ali gde je q-maksimalna brzina vetra koja se na tom potezu trase"pojavljuje prosečno svakih 5 godina", a za vodove napona 380 kV i u dužem vremenskom periodu. Ovu brzinu vetra treba odrediti na osnovnu merenja, primenjujući prikazanu statističku obradu mernih podataka.

Ovako odredjen pritisak vetra primenjuje se na osnovnu visinsku zonu od 0 do 40 m iznad zemljine površine, i ne može biti manji od 60 daN/m², odnosno 50 daN/m² prve veće vrednosti iz sledećeg reda: 60, 75, 90, 110, 130 daN/m².

Na dalekovodima u zoni izmedju 40 i 80 m nad zemljom treba uzeti povećane vrednosti pritiska vetra, a prema sledećoj tablici:

Visinska zona	Pritisak vetra u daN/m²				
Osnovna visinska zona od 0 do 40 m iznad zemlje	60	75	90	110	130
Delovi voda u zoni izmedju 40 i 80 m nad zemljom	75	90	110	130	150
Vodovi od najviše 15 m nad zemljom	50	60	75	90	110

Za pritisak vetra na provodnike, odnosno zaštitnu užad, merodavna je visina njihove tačke vešanja u stezaljci na odnosnom stubu. Na prelazima velikih jaruga treba uzeti u obzir posebne uslove strujanja vazduha.

Koeficijenti dejstva vetra za pojedine delove voda su:

-za stubove četvorouglastog preseka..........1.4

-za stubove štestougaonog ili osmougaonog preseka...1.0

-za stubove okruglog preseka................0.7

-za dvostruke stubove četvoruglog preseka za vetar u pravcu ravni koja prolazi kroz obe ose stubova (ako je razmak osa manji od dvostruke strane preseka)...2.0

-za dvostruke stubove okruglog preseka, za vetar u pravcu ravni koja prolazi kroz ose stubova (ako je razmak ose manji od dvostrukog prečnika..........1.0

-za rešetkaste stubove od profilnog čelika u ravni...1.4

-za rešetkaste stubove od cevi u ravni.........1.1

-za četvorougaone rešetkaste stubove od profilnog čelika 2.6

-za četvorougaone rešetkaste stubove od cevi...2.0

-za trougaone rešetkaste srubove od profilnog čelika...2.8

-za provodnike i zaštitnu užad................1.0

Koeficijent dejstva vetra uzima u obzir dejstvovanje vetra na pritisak i usisavanje, dejstovanje vetra na zadnju stranu rešetkaste konstrukcije, kao i smanjenje dejstva vetra na provodnike i zaštitnu užad zbog toga, što se maksimalni pritisak nikad ne javlja istovremeno duž čitavog raspona.

2.7 Proračun opterećenja usled dejstva vetra na gradjevinske objekte i konstrukcije

Opterećenje usled dejstva vetra na gradjevinske objekte i konstrukcije računa se po elementima, tako da ukupno opterećenje ima oblik: $Q = \sum C_x K_h q S$, daN/m^2 , (2.14)

Q-opterećenje usled dejstva vetra na gradjevinski objekt ili konstrukciju; C_x-aerodinamički koeficijent ili koeficijent oblika; K_h-koeficijent kojim se preračunavaju vrednosti pritiska vetra na visini 10 m iznad zemljine površine na druge visine; q-verovatnoća računatog maksimalnog pritiska vetra koji se javlja jednom u 5, 10, 15 ili više godina, u zavisnosti od predvidjenog perioda eksploatacije; S-projekcija površina elementa objekta na ravan koja je normalna na pravac vetra.

U formuli nedostaje koeficijent za preračunavanje pritiska vetra koji se javlja jednom u 5 godina na pritisak koji se javlja redje, sa manjom verovatnoćom (jednom u 10,15 ili više godina) niti koeficijent koji se uzima zbog pritiska vetra i reakcije objekta, a nastaje pri rafalnom naletu vetra.

Vrednosti aerodinamičkog koeficijenta ili češće up-

otrebljavanog izraza "koeficijent oblika" (C_x) nalazimo za svaki oblik gradjevinskog objekta ili konstrukcije u odeljku o propisima. koji se nalaze u prethodnom delu. Medjutim, jedan od najvažnijih parametara u formuli je koeficijent (K_h) ili (K_z) kojim se preračunava pritisak vetra (q) na visini 10 m iznad zemljine površine na druge visine. Ovaj koeficijent se odredjuje na osnovu promene brzine vetra sa visinom u prizemnom sloju atmosfere.

Promena vetra sa visinom vrlo je različita, a zavisi od jačine vetra i turbulencije. Pri jakom vetru na zemljinoj površini promena vetra sa visinom je mala, uglavnom zbog turbulencije. Medjutim, nisu retki slučajevivi u kojima je opaženo smanjenje brzine vetra sa visinom, kada je na zemljinoj površini jak vetar.

Kako se danas projektuju visoki i vrlo visoki objekti, čak do visine 500m i više metara, neophodno je za proračun koeficijenta K_z uzeti podatke aeroloških osmatranja.

Za različite periode verovatnoće, uglavnom za 5 i 20 godina, ispitivani su odnosi brzine V_{2o} i V_5 i dodatnih opterećenja q_{20} i q_5. H.Tom (1964.) je ustanovio odnose brzina za različite periode verovatnoće. Ova zavisnost proizilazi iz osobine funkcije F (V), kojom se aproksimira integralna kriva raspodele mesečnih maksimuma. Ako se izraze funkcije kroz odgovarajuće vremenske periode trajanja (T) dobijamo:

$$\frac{V_{10}}{V_5} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{1/\gamma} = 2^{1/\gamma} \qquad (2.15)$$

Prema raspodeli brzina vetra odredjeno je (M.V.Zavarina, 1976) da se γ za visine do 500 m menja od 5 do 8, pa prema tome $2^{1/\gamma}$ se nalazi u granicama od 1.15 do 1.09. Uzimajući za srednju vrednost γ=6.5 dobijamo za prizemni sloj do 500 m $2^{1/\gamma}$= =1.11. Iz ovoga slede da su odnosi:

$$\frac{V_{10}}{V_5} = \frac{V_{20}}{V_{10}} = \frac{V_{40}}{V_{20}} = 1.11$$

Očigledno je da su i odnosi:

$$\frac{V_{20}}{V_5} = \frac{V_{20}}{V_{10}} \cdot \frac{V_{10}}{V_5} \quad ili \quad \frac{V_{10}}{V_5} = \sqrt{\frac{V_{20}}{V_5}} \qquad (2.16)$$

Tako na primer, iz podataka o verovatnoći računate maksimalne brzine vetra za područje Beograda, koja se javlja jednom u 5 i 10 godina, imamo: V_5= 32 m/s i V_{1o}= 34 m/s, tada

iz odnosa (2.15) dobijamo za verovatnoću računate maksimalne brzine koja se javlja jednom u 20 godina V_{2o}=36 m/s.

2.7.1 Vertikalni profili brzine i pritiska vetra

U delu (2.5) bilo je opisano o profilu srednje brzine vetra u prizemnom sloju atmosfere (do visine dvadesetak metara), koji se dosta dobro predstavlja logaritamskom funkcijom i odgovarajućim parametrom za hrapavost zemljine površine. Tada je istaknuto da se za potrebe projektovanja visokih objekata, za proračun dodatnih opterećenja, najčešće uzima eksponencijalna funkcija za opis profila vetra:

$$\frac{V}{V_1} = \left(\frac{Z}{Z_1}\right)^n$$

V i V_1 su srednje brzine vetra na visinama z i z_1, a n-je parametar koji zavisi od hrapavosti podloge, brzine vetra, stratifikacije atmosfere i turbulentnosti. Parametar n je tanges ugla nagiba krive prema osi apscise (u logaritamskim koordinatama). Ako se sastavi grafikon i prikaže promena brzine vetra sa visinom pri različitoj hrapavosti zemljišta, tada je jednostavnije odrediti odnos parametra n i pomenutih činilaca (slika 2.17).

Promena brzine vetra sa visinom prema iznetim formulama odnosi se za granični sloj tj. za prizemni sloj atmosfere do visine na kojoj prestaje uticaj hrapavosti zemljine površine. Iznad ovog sloja sila trenja je jednaka nuli.

Visina graničnog sloja se menja u toku vremena, a zavisi od dinamičke i termičke turbulentnosti. Pri velikoj brzini vetra javlja se jaka dinamička turbulencija i tada visina graničnog sloja može iznositi oko 1000 m; pri maloj brzini vetra njegova visina ne prelazi 300 do 400 m. Medjutim, pri stabilnom stanju atmosfere ova visina može biti i znatno manja, ispod 300 m.

Analiza podataka o promeni srednje brzine vetra sa visinom u sloju do 300 m pokazuje (Zavarina,1976) da se profil vetra tačnije aproksimira eksponencijalnom funkcijom nego logaritamskom. Naročito u stabilnoj atmosferi, kada je negativan

vertikalni gradijent temperature u sloju 200 do 300 m i kada je na gornjoj granici jak vetar. Medjutim, ako je u datom sloju vertikalni gradijent temperature blizu adijabatskom, a brzina vetra ne prelazi 8-10m/s, vertikalni profil brzine vetra je bolje aproksimirati logaritamskom nego eksponencijalnom funkcijom. U ostalim stanjima atmosfere, pri adijabatskom i nadadijabatskom gradijentu temperature i većoj brzini vetra vertikalni profil treba aproksimirati eksponencijalnom funkcijom.

Kada je nestabilno stanje atmosfere vrednost parametra (n) je manja nego pri stabilnom, jer se tada u prizemnom sloju javlja jaka turbulencija, a brzina vetra sa visinom vrlo slabo povećava. Pri ovom stanju atmosfere vrednosti parametra n se menjaju od 0.08 do 0.15, u zavisnosti od mesta merenja.

Kada je vrlo stabilno stanje atmosfere i kada se javljaju jake inverzije vrednosti parametra n se menjaju od 0.6 do 0.8.

Uporedjujući vrednosti parametra n, pri različitim stanjima atmosfere, lako je primetiti da ukoliko je veća brzina vetra utoliko ovaj parametar manje zavisi od stratifikacije temperature u prizemnom sloju. Tako, pri brzinama većim od 15 m/s n ne zavisi od veličine vertikalnog gradijenta temperature.

Davenport (1967.) daje za odnos izmedju brzine vetra i visine sledeći oblik:

$$\frac{V_z}{V_g} = \left(\frac{Z}{Z_g}\right)^n \qquad (2.17)$$

u kojem su: z-visina i V_z-brzina na visini z; z_g-visina geostrovskog vetra , a V_g-brzina geostrovskog vetra. Geostrovskom ili gradijentnom brzinom vetra nazivamo onu brzinu,koja je odredjena samo izobarskim poljem, dakle, pod uticajem gradijenta pritiska i Koriolisove sile - sile skretanja, koja nastaje usled obrtanja Zemlje.

Za tri vrste podloge daju se srednje vrednosti eksponenta n prema Davenportu i Berštajnu (1973):

Podloga	Parametar n			
	prema Davenportu		prema Berštajnu	
	n	Z_g,m	n	Z_g,m
1. Otkriven, ravan teren	0.16	270	0.16	300
2. Šuma i predgrađe grada	0:28	390	0.22	400
3. Centar velikog grada	0.40	510	0.33	500

Uzimajući u obzir sve što je rečeno za promene srednje brzine vetra, može se predpostaviti da su promene računate brzine vetra nešto sporije, pa prema tome i parametar n nešto manji.

Pritisak vetra proporcionalan je kvadratu računate maksimalne brzine, a njegova promena sa visinom može se izraziti sledećom formulom:

$$\frac{q_z}{q_1} = \left(\frac{Z}{Z_1}\right)^{\mathcal{H}} \qquad (2.18)$$

u kojoj su q_1 i q_2 - pritisci vetra na visinama z_1 i z, a

$\mathcal{H} = 2^n$, $\left[V = V_1\,(Z/Z_1)^n;\ q = V^2/16\ ;\ q_1 = V_1^2/16\right]$.

prema ispitivanjima vršenim u ravničarskim krajevima srednja vrednost $\mathcal{H}$ =0.25, (Zavarina, 1976).

2.7.2 Dinamička komponenta opterećenja vetra

Kod projektovanja visokih objekata koji imaju veća kolebanja (sa periodima većim od 25 cm), kao što su tornjevi, dimnjaci, stubovi dalekovoda, višespratnice i sl. mora se posebna pažnja obratiti na proračun dinamičkog opterećenja. Ono po veličini prelazi statičko, a uslovljeno je vetrom, koji se javlja u pulzacijama, naglim udarima, zbog ubrzanja vazdušne struje i pravca duvanja vetra, a dogadja se posle izvesnog zatišja, kada vetar menja brzinu u kratkim vremenskim razmacima. Osobine udarnosti vetra najčešće su odredjene eksperimentalno. Veličina ili stepen udarnosti vetra zavisi od koeficijenta koji je odredjen odnosom izmedju maksimalne brzine vetra (V_x) u nekom intervalu i srednje brzine vetra (V) istog intervala. Ovaj koeficijent udarnosti vetra, zavisi od brzine vetra, hrapavosti terena i stanja atmosfere (termičke stratifikacije) pa prema tome, njegova veličina zavisi od visine iznad zemlj-

ine površine.

Prema nekim ispitivanjima maksimalna brzina (V_x), pri udarima, iznosi V_x=1.9 V; V-je srednja brzina vetra. Udarnost vetra nastaje zbog turbulencije. U planinskim predelima udarnost vetra je veća nego u ravnicama; šume, gradovi, mora i reke takodje utiču na povećanje udarnosti vetra (M.Milosavljević, 1962).

Zbog udarnosti vetra proračunava se rezonanca koja nastaje kada se frekvencija udara vetra poklopi sa frekvencijom slobodnih poprečnih kolebanja objekta cilindričnog oblika, kao što su dimnjaci, tornjevi i sl.

Kod elastičnih konstrukcija prizmatičnog oblika,zbog tzv. aerodinamičke nestabilnosti, propisi predvidjaju specijalne norme pri projektovanju da bi se obezbedile mogućnosti nastanka poprečnih kolebanja.

Proračun dinamičkog opterećenja uzima u obzir dinamičnosti i korelacije pulzacije brzine vetra, kako po visini tako i po frontu objekta. Koeficijent dinamičnosti zavisi od (logaritamskog) prigušivanja kolebanja, od perioda sopstvenih slobodnih kolebanja konstrukcije. Na osnovu pomenutih brojnih činilaca može se pretpostaviti sva složenost proračuna dinamičkog opterećenja, odredjivanja koeficijenta dinamičkog opterećenja koji ulazi u formulu. Sa gledišta tehničke meteorologije problematika je još složenija s obzirom na procese odredjivanja dinamičkog optercenja koji su izvan delokruga gradjevinske meteorologije.

Dinamička komponenta pritiska vetra (P_d) računa se (SNiP, II-6-74, Moskva, 1976) prema formuli:

$$P_d = P_s \nu \varepsilon m$$

P_s je statička komponenta pritiska vetra na visini gradjevinskog objekta ili konstrukcije, a računa se po metodu opisanom u tač.2.3.

ν' je koeficijent koji se uzima u obzir samo za prvi oblik kolebanja objekta ili konstrukcije.

ε je dinamički koeficijent; za objekte i konstrukcije kao što su čelični tornjevi, dimnjaci, kule i sl. ovaj se parametar odredjuje u zavisnosti od logaritma kolebanja (δ) i parametra $\varepsilon_i = \frac{T_i \nu'}{1200}$ (T_i-period, i-tog oblika kolebanja, u s); za δ =0.15 i ε_i dinamički koeficijent (ε) iznosi:

ε_i	0.00	0.015	0.05	0.06	0.1	0.15	0.2
ε	1.2	1.5	1.9	2.0	2.3	2.6	2.8

m je koeficijent pulzacije koji zavisi od izloženosti objekta ili konstrukcije i od njihove visine iznad zemljine površine. Prema gradjevinskim propisima SSSR-a (Moskva, 1976) koeficijenti pulzacije za ove objekte iznose:

Izloženost	Visina iznad zemljine površine					
	10	20	40	60	100	200
a) Otkriveni tereni	0.60	0.55	0.48	0.46	0.42	0.30
b) Gradovi i okolna naselja.šume i slično	0.80	0.75	0.65	0.60	0.54	0.46

Koeficijent pulzacije vetra u tehničkoj meteorologiji se odredjuje. kao što je već pomenuto. iz koeficijenta udarnosti (K). a ovaj se odredjuje iz odnosa maksimalne i srednje brzine vetra. Interval osrednjavanja ova dva parametra mora da zadovolji: da je interval maksimalne brzine vetra znatno manji od intervala srednje. Najčešće se uzima (M.M.Borisenko,1980.) interval maksimalne brzine 3 m/s a srednje 3 min.

Imajući koeficijent udarnosti (K) prema formuli $P=K^2-1$, dobijamo koeficijent pulzacije.

Treba primetiti da veličina udarnosti (mahovitosti) vetra zavisi u prvom redu od hrapavosti terena. a zatim i od brojnih meteoroloških činilaca. kao što su: stratifikacija temperature vazduha u prizemnom sloju, brzina vetra, interval maksimalnog udara i srednja brzina i visina merenja pravca i brzine vetra.

Smatra se da je stratifikacija temperature pri jakom vetru bliska neutralnoj i da se malo menja sa povećanjem brzine vetra.

Za našu teritoriju računati su koeficijenti udarnosti i pulzacija. a na osnovu podataka o vetru sa specijalne mete

orološke stanice u lokalitetu buduće termoelektrane "Kolubara B". Za ovaj lokalitet dobijeni su sledeći srednje godišnji koeficijenti udarnosti i pulzacija:

Godina	1976.	1977.	1978.	1979.	1980.	1981.
Koeficijent udarnosti (K)	1.4	1.6	1.5	1.5	1.7	1.6
Koeficijent pulzacije (P)	1.2	1.6	1.0	1.0	1.9	1.5

Srednja višegodišnja vrednost koeficijenta udarnosti je 1.6 a pulzacije 1.4.

2.8 Propisi o dadatnom opterećenju u drugim zemljama

U mnogim zemljama zakonom su regulisani, utvrdjeni normativi o dodatnom opterećenju usled dejstva vetra na gradjevinske objekte i konstrukcije. U zavisnosti od metodologije merenja i obrade podataka o vetru razlikuju se i propisi o primeni normativa o dodatnom opterećenju. U toku poslednjih godina sve je više zemalja koje u propisima predlažu primenu izložene metodologije o obradi podataka o vetru, putem statističke ekstrapolacije godišnje ili mesečne računate maksimalne brzine vetra koja se javlja jednom u 2, 5, 10, 15, 20, 50 ili 100 godina. Na osnovu ovako pripremljenih podataka izradjene su karte o teritorijalnoj raspodeli verovatnoće računate maksimalne brzine ili pritiska vetra. U propisima se najčešće predlaže tzv. osnovna karta o prostornoj raspodeli ili odgovarajućim zonama sa računatom maksimalnom brzinom vetra koja se javlja jednom u 5 ili 50 godina.

U propisima o dodatnom opterećenju vetra koji se primenjuju u SSSR-u nalazi se karta o teritorijalnoj raspodeli računate maksimalne brzine vetra koja se javlja jednom u 5 godina (Zavarina, 1976). Teritorija SSSR-a podeljena je u više zona, a svakoj zoni odgovaraju sledeće vrednosti dodatnog opterećenja: prvoj - 27.5, drugoj -36, trećoj - 52.5, četvrtoj 68, petoj - 90, šestoj-110 i sedmoj-132 daN/m². Dodatna opterećenja se odnose za visine 10 m iznad zemljine površine.

U ovim propisima je i formula za proračun tzv. normativnog dodatnog opterećenja. Formula se koristi za preračunavanje podataka o maksimalnoj brzini vetra, koji su dobijeni na osnovu klimatološke obrade podataka o vetru, izmerenog vetrokazom. Normativno dodatno opterećenje, za ovakvu vrstu podataka, izračunava se prema formuli:

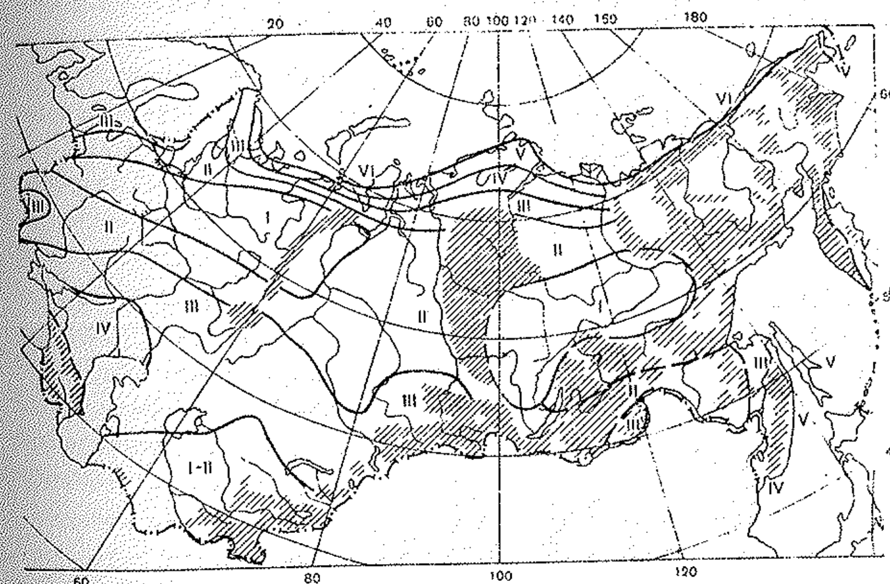
$$q = \frac{a V_5^2}{16}, \quad daN/m^2 \qquad (2.19)$$

u kojoj su: a-koeficijent popravke, koji se odredjuje na sledeći način: $a = 0.75 + \frac{5}{V_5}$

V_5 - je računata maksimalna brzina vetra koja se javlja jednom u 5 godina.

Ovakav način obrade podataka o dodatnom opterećenju koji se koristi i za izradu karte, primenjuje se za stanice koje mere brzinu i pravac vetra Vildovim vetrokazom.

Norme o dodatnom opterećenju u propisima SSSR-a izradjene su na osnovu detaljne analize režima vetra, koja je opisana u publikaciji "Spravočnik po klimatu SSSR" (1976). Na sl. 2.29. prikazana je teritorija SSSR-a podeljena u sedam zona



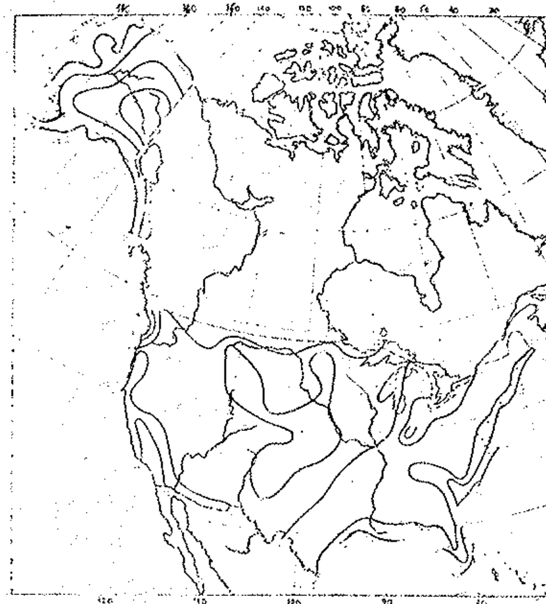
Sl. 2.29. Teritorija SSSR-a podeljena u sedam zona sa vrednostima maksimalnih brzina vetra sa odgovarajućim vrednostima računate maksimalne brzine vetra

koja se javlja jednom u 5 godina i za visinu 10 m iznad zemljine površine.

U SAD se primenjuju propisi o dodatnom opterećenju vetra koji su izradjeni na osnovu istraživanja Meteorološke službe SAD. U propisima se nalaze karte o teritorijalnoj raspodeli računate maksimalne brzine vetra koja se javlja jednom u 2, 10, 25 i 100 godina, a za visinu 10 m iznad zemljine površine. Veličine računate maksimalne brzine vetra dobijene su metodom statističke ekstrapolacije raspodele godišnjih maksimalnih brzina za niz od 21 godinu (H.Tom, 1968.).

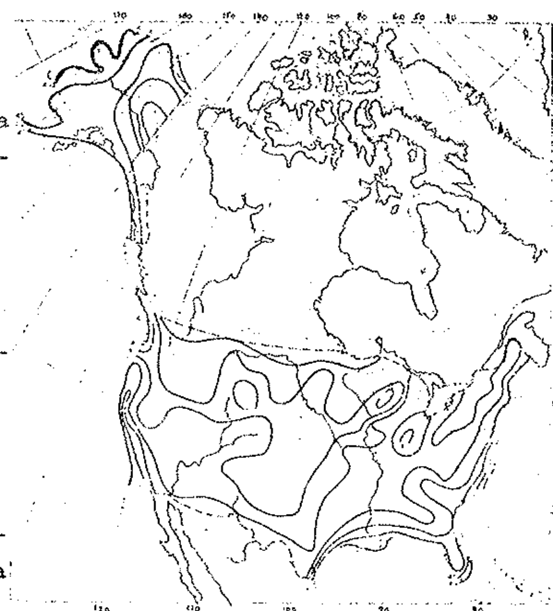
Integralna kriva raspodele ovih maksimuma aproksimirana je funkcijom (2.4). Dobijene veličine nanosile su se na dijagram prikazan na sl.2.13.

U propisima je predvidjeno da se za projektovanje gradjevinskih objekata i konstrukcija koriste dve osnovne karte sa raspodelama računate maksimalne brzine vetra koje se javljaju jednom u 10 i 50 godina. Podaci se odnose na visinu 10 m iznad zemljine površine. Ove karte prikazane su na sl.2.30. i 2.31. Propisi takodje predvidjaju korišćenje karte o teritorijalnoj raspodeli računate maksimalne brzine vetra koja se javlja jednom u 25 godina, ali za objekte koji pri havariji neće ugroziti ljudske živote.



Sl.2.30. Raspodela računate maksimalne brzine vetra iznad SAD koja se javlja jednom u 10 godina

U standardima SAD iz 1972. za projektovanje visokih i velikih gradjevinskih objekata i konstrukcija predvidjeno je da se za proračun statičkog dela opterećenja koristi karta sa teritorijalnom raspodelom računate maksimalne brzine vetra koja se javlja jednom u 50 godina. Medjutim, za objekte koji su predvidjeni za duži period eksploatacije, propisi predlažu da se koriste karte sa računatom maksimalnom brzinom koja se javlja jednom u 100 godina.



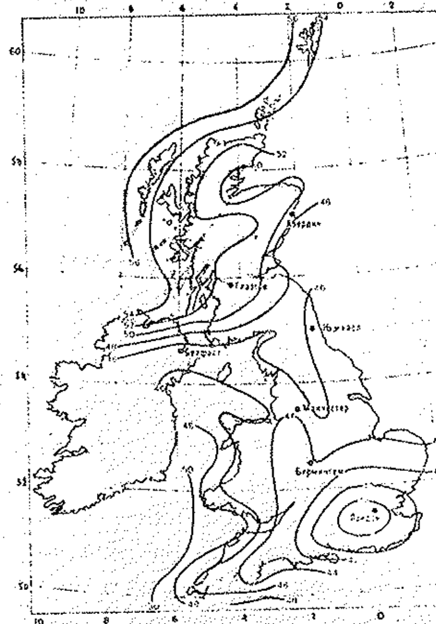
Sl.2.31. Raspodela računate maksimalne brzine vetra iznad SAD, koja se javlja jednom u 50 godina

Prema propisima o dodatnom opterećenju usled dejstva vetra koji se primenjuje u Kanadi, za proračun pritiska vetra moraju se uzimati podaci o računatoj maksimalnoj brzini vetra koja se javlja jednom u 10, 30 i 100 godina.

Propisi o dodatnom opterećenju, koji se primenjuju u Danskoj i V.Britaniji, zahtevaju da se za potrebe projektovanja uzimaju podaci o računatoj maksimalnoj brzini vetra koja se javlja jednom u 50 godina, a za visinu 10 m iznad zemljine površine.

U V.Britaniji metod obrade podataka o vetru sastoji se u nalaženju raspodele integralne verovatnoće računate maksimalne brzine vetra pomoću funkcije Gumbela. Pri obradi anemograma uzimaju se vrednosti maksimalnog udara vetra u trajanju od tri sekunde. Na sl.2.32. prikazana je karta V.Britanije sa teritorijalnom raspodelom računate maksimalne brzine vetra koja se javlja jednom u 50 godina, na visini 10 m iznad zemljine površine.

Pri obradi anemograma u SSSR-u se uzimaju maksimalni udari vetra u trajanju od 2 minuta, u SAD i još nekim zemljama, kraćeg prosečnog trajanja. Razlike postoje i u formulama koje se koriste za proračun dodatnog opterećenja, a u prvom redu, zbog koeficijenata koji ulaze u formulu. Tako, na



primer, u V.Britaniji, prema propisima koji su u važnosti od 1972. godine, računata maksimalna brzina vetra koja se javlja jednom u 50 godina množi se sa tri koeficijenta; neke su razlike i u načinu primene koeficijenta hrapavosti zemljine površine kod odredjivanja promene brzine vetra sa visinom.

Ove razlike su uočljive kada se uporede koeficijenti za preračunavanje dodatnih opterećenja sa visinom (K_h) za lokalitete u SSSR-u i SAD.

Sl.2.32. Raspodela računate maksimalne brzine vetra koja se javlja jednom u 50 godina, u V.Britaniji

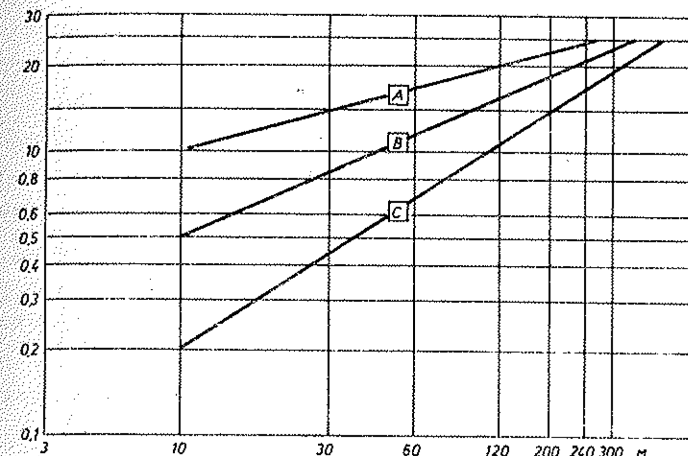
Prema propisima koji se primenjuju u SSSR-u koeficijenti popravke (K_h) su odredjeni za dva lokaliteta : 1) otvoreni tereni (stepe, pustinje, polja, otvorene obale mora, jezera, ušća reka i sl.) i 2) zaštićeni tereni (gradovi, šumski kompleksi, tereni pokriveni preprekama koje su više od 10 m i slično). Vrednosti brzine vetra koje se preračunavaju pomoću koeficijenta (K_h) za različite visine uzimaju se iz karte o prostornoj raspodeli računate maksimalne brzine vetra koja se javlja jednom u 5 godina. Karta se nalazi u propisima SSSR-a o dodatnom opterećenju.

Tablica 2.9

Koeficijenti (K_h)

Lokalitet	eksponent (n)	Visina iznad zemljine površine u m					
		10	30	60	100	200	350
1) Otvoreni tereni	0.16	1	1.4	1.8	2.1	2.6	3.1
2) Zaštićeni tereni	0.22	0.65	1.05	1.4	1.8	2.45	3.1

Propisi SAD izdvajaju tri lokaliteta sa različitim koeficijentom (K_h). Na sl.2.33. prikazan je grafikon sa promenama koeficijenta (K_h) sa visinom u zavisnosti od tri lokaliteta: A - otkriveni, ravni tereni; B - šume i predgradja gradova, i C - centri velikih gradova.



Sl.2.33. Promena koeficijenta K_h sa visinom u zavisnosti od lokaliteta

U propisima V.Britanije izdvojena su četiri lokaliteta, i za svaki lokalitet prikazan odnos izmedju trenutnog udara vetra i srednje časovne brzine vetra ($V/\bar{V}$):

Lokalitet:	odnos $V/\bar{V}$
1. Otvoreni tereni	1.5
2. Otvoreni tereni sa preprekama male visine	1.7
3. Tereni sa brojnim manjim preprekama (predgradje gradova, varošica i sl.)	1.9
4. Tereni sa visokim i višim preprekama	2.1

Prema ovim propisima, brzina vetra koja ulazi u formulu (2.11) za proračun dodatnog opterećenja, odredjuje se prema sledećem obrazcu:

$$V = V_R S_1 S_2 S_3 \qquad (2.20)$$

u kojoj je V_R - računata maksimalna brzina koja se javlja jednom u 50 godina, a uzima se sa karte prikazane na sl.2.32.

Pomoću koeficijenta (S_1) odredjuju se uticaji reljefa na brzinu vetra; oblici reljefa utiču na povećanje ili smanjenje brzine vetra, koja je opažena na ravničarskom i otvorenom terenu. Tako na primer, brzina vetra na otvorenoj planinskoj dolini uvećava se u odnosu na brzinu vetra na otvorenom ravničarskom terenu za koeficijent S_1=1.1. Medjutim,na terenima zaštićenim od vetra, na zavetrinskim stranama uzvišenja ili zaštićenih dolina, ovaj koeficijent iznosi S_1=0.9. Odredjivanje vrednosti koeficijenta S_1 je slično onim opisanim, koji su već izneti u delu 2.5.1.

Uvodjenjem drugog koeficijenta (S_2) u formulu, odredjene su promene brzine vetra sa visinom za različite vrste lokaliteta i zaštićenosti, a za rane oblike gradjevinskih objekata i konstrukcija.

Promena brzine vetra sa visinom, a time i koeficijenta S_2 ,odredjuje se prema sledećoj formuli:

$$V_z = V_E \left(\frac{Z-Y}{10} \right)^n \qquad (2.21)$$

u kojoj su: V_z - brzina vetra na visini z; V_E - brzina vetra na nivou E, koji iznosi: E=10+Y, gde je Y visina prepreke (na otvorenom terenu, prema već opisanom tipu lokaliteta Y=0; u lokalitetu drugog tipa Y=2m; trećeg Y=10 m i četvrtog Y=25m. Brzina V_E se odredjuje prema brzini vetra na visini 10m iznad zemljine površine i na otvorenom terenu (V_{10}). Vrednosti se očitavaju sa intervalom trajanja 3 sekunde.Prema podacima o brzinama vetra (V_{10}) i (V_E) dobijaju se koeficijenti za (K_E); pošto je $K_E=V_E/V_{10}$. Uzimajući sve ovo u obzir, dobijamo formulu za izračunavanje koeficijenta (S_2) o promeni brzine vetra sa visinom u zavisnosti od lokaliteta:

$$S_2 = K_E \cdot K_{E,t} \left(\frac{Z-Y}{10} \right)^n \qquad (2.22)$$

Veličine Y,E i koeficijenta K_E prikazane su u tablici 2.10. Da bi se proračunala brzina vetra osmotrena u trajanju tri sekunde za veće vremensko trajanje 5 ili 15 sekundi, u tablici su date vrednosti koeficijenta K_5 i K_{15}, a takodje i eksponenta (n) za trajanje 3, 5 i 15 sekundi (n_3, n_5, n_{15}).

Tablica 2.10

Vrednosti parametra za izračunavanje koeficijenta (S_2)

Lokalitet	Y	E_m	K_E	K_{Et}: K_5	K_{Et}: K_{15}	n_3	n_5	n_{15}
1. Otvoreni tereni	0	10	1.00	0.95	0.90	0.080	0.090	0.100
2. Otvoreni tereni sa preprekama male visine	2	12	0.98	0.95	0.90	0.085	0.095	0.105
3. Tereni sa brojnim manjim preprekama	10	20	0.95	0.95	0.90	0.090	0.100	0.110
4. Tereni sa visokim i velikim preprekama	25	35	0.94	0.95	0.90	0.090	0.105	0.115

U tablici 2.11 prikazane su vrednosti koeficjenta (S_2) računate na osnovu vrednosti parametara iz tablice 2.10,a važe za različite lokalitete i visine objekta iznad zemljine površine.

Tablica 2.11

Vrednosti koeficijenta (S_2)

L o k a l i t e t	Visina iznad zemljine površine, u m: 3	10	30	60	100	200
1. Otvoreni teren	0.83	1.00	1.09	1.15	1.20	1.27
2. Otvoreni teren sa preprekama male visine	0.72	0.93	1.07	1.14	1.19	1.26
3. Tereni sa brojnim malim preprekama	0.64	0.78	1.01	1.10	1.16	1.24
4. Tereni sa visokim i velikim preprekama	0.56	0.67	0.90	1.05	1.13	1.22

Postoje izvesne razlike izmedju vrednosti koeficijenta (K_h) koje se navode u propisima SSSR-a i SAD, a prikazanih u tablici 2.9 i koeficijenata(S_2) koji se navode u propisima V.Britanije, a prikazanih u tabl.2.11. Vrednosti iz engleskih propisa (standarda) su nešto manji,nego u propisima SSSR-a i SAD, pa i u propisima drugih zemalja.

Treći koeficijent (S_3) iz formule 2.20, odredjuje tzv. "stepen dopuštenog rizika" koji se uzima pri projektovanju objekata. Sa meteorološke tačke gledišta to je koeficijent koji uzima u obzir vremensko trajanje objekta izloženog vetru u periodu eksploatacije, najčešće izražen u godinama. Pomoću ovog koeficijenta (S_3) prelazi se sa računate maksimalne brzine za osnovni period (u propisima SSSR-a to je 5 godina, SAD i Velika Britanija 50 godina) na računatu maksimalnu brzinu sa dužim periodom verovatnoće javljanja.

U propisima V.Britanije za različite periode verovatnoće ovaj se koeficijent nalazi grafičkim putem. Medjutim, ako se vrednosti ovog koeficijenta uporede sa sličnim koeficijentima iz drugih propisa, na primer, sa (K_h) u formuli 2.14, za osnovni period verovatnoće javljanja jednom u 5 godina, tada je n=1.3, odnosno S_3=1.14 za računate maksimalne brzine vetra koje se javljaju jednom u 20 godina. Isto tako, ako je osnovni period 5 godina, tada je n=1.5, a S_3=1.22, za prelaz na period 50 godina.

2.9 Karakterični jaki vetrovi u Jugoslaviji

Kao što je već napomenuto u prethodnim delovima ove glave jedan od najznačajnih meteoroloških parametara koji se koriste za projektovanje, izgradnju i eksploataciju gradjevinskih objekata i konstrukcija, jeste vetar, njegova brzina i pravac. Upoznati režim vetra u lokalitetu i širem fizičko-geografskom području ovih objekata, znači u prvom redu utvrditi osnovne uzroke nastanka vetra, njihovu čestinu javljanja različitih intervala brzine i pravca, i posebno, izdvojiti maksimalne vrednosti kako bi se izračunale verovatnoće maksimalnih brzina i dodatnog opterećenja usled dejstva vetra, a za različite periode trajanja predvidjenog eksploatacionim periodom objekta. Detaljniji opis postanka, čestine javljanja i prostorne i vremenske raspodele karakterističnih jakih vetrova na teritoriji Jugoslavije dao je Z.Popović (1977.).

2.9.1 Uzroci nastanka karakterističnih jakih vetrova u Jugoslaviji

Jaki vetovi javljaju se u oblastima niskog vazdušnog pritiska, odnosno u oblastima ciklona i depresija. Brzina vetra

se naročito povećava kada u centralnom delu ciklona dodje do jačeg pada vazdušnog pritiska, a istovremeno na periferiji se znatno ne menja.

Pri prodoru vlažnog atlanskog vazduha preko zapadne i srednje Evrope na jugoistok, usled efekta zastoja na Alpima, u Djenovskom zalivu često dolazi do razvoja ciklona koji utiče na vazdušna strujanja u našoj zemlji. Ako se u isto vreme u oblastima Karpata i Ukrajine zadržava polje visokog vazdušnog pritiska (Anticiklon) onda iznad našeg područja jača barski gradijent, a to znači da se povećava brzina i udarnost vetra.

Ciklon iz Djenovskog zaliva obično se premešta preko Panonske nizije na severoistok, zatim, dolinom Save na istok ili duž Jadrana na jugoistok, mada postoje i druge kombinacije. Usled približavanja centra ciklona i jačanja barskog gradijenta u našoj zemlji južni vetar postaje sve jači, a pojedini udari vetra na Jadranu i u brdovitim predelima, kao i u pomoravlju dostižu olujne i orkanske brzine. U vezi kretanja centra ciklona premeštaju se i hladni frontovi u čijoj zoni takodje duvaju jači vetrovi.

Posle prelaska centra ciklona i frontova preko naše zemlje, južna vazdušna strujanja slabe. Na Jadranu počinje bura sa jakim udarima u Kvarnerskom zalivu i podvelebitskom kanalu, a u kontinentalnom delu počinje da duva severozapadni vetar ili severac. Ovaj vetar je naročito jak, odnosno dobija jako ubrzanje u dolini Morave, Timoka, Nišave i Vardara.

Jedna od osobina pojačanog vetra je da često menja brzinu u odnosu na srednje vrednosti. Na to utiču promene u polju vazdušnog pritiska i turbulencija vazduha. Reljef ima takodje važnu ulogu jer u nekim predelima kanališe i odredjuje pravac ili primorava vetar da se uzdiže ili spušta po stranama planina.

Jaki vetovi sa olujnim ili orkanskim brzinama, koje uslovljava prolazak ciklona, javljaju se uglavnom u zimskom periodu godine (oktobar-april). U letnjem periodu olujni vetrovi vezani su za nastanak vremenskih nepogoda. Ove nepogode nastaju u jednoj nestabilnoj vazdušnoj masi ili u zoni hladnog fronta. Nosioci nepogode su oblaci jakog vertikalnog razvoja-stručno nazvani kumulonimbusi(Cb). Ovi oblaci, prema radarskim osm-

strujanjima dostižu visine 8 do 15 km i u njima postoje jaka vertikalna strujanja brzine 20 do 30 ili više metara u sekundi. Ova vrtložna strujanja imaju rušilačku moć i nanose veliku materijalnu štetu privredi. Statistika pokazuje da je u letnjem periodu godine najveća čestina pojava nepogoda sa jakim vetrom u brdovito-planinskim predelima Bosne, Severne Crne Gore, Zapadne Srbije kao i u oblasti Alpa.

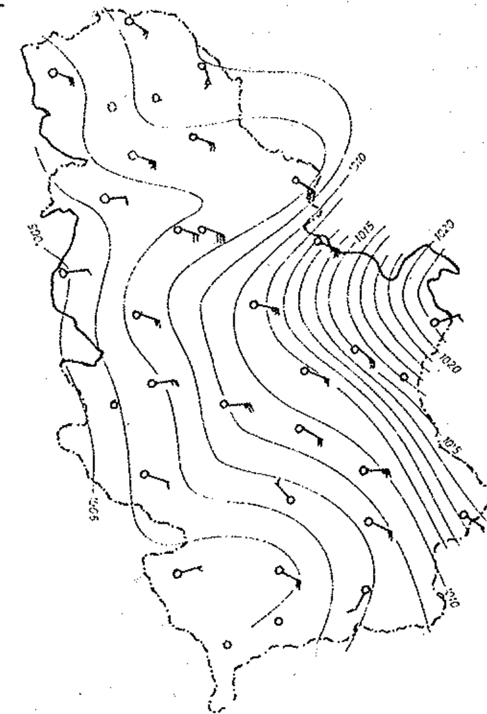
2.9.2 Raspodela karakterističnih jakih vetrova

Svaki kraj naše zemlje ima karakteristične jake vetrove, koji imaju različite udarnosti. Ovde će se ukratko dati opis poznatih karakterističnih jakih vetrova koji se javljaju na teritoriji Jugoslavije.

K o š a v a. U severoistočnom delu naše zemlje poznata je košava kao jak vetar. U podunavlju i pomoravlju ima jugoistočni pravac i duva uglavnom u periodu oktobar-april. Po najvećoj čestini njeni su meseci novembar i mart, kada u Djenovskom zalivu često dolazi do razvoja ciklona. Najjači udari košave zabeleženi su u Južnom Banatu izmedju Velikog Gradišta, Vršca i Beograda. Srednja brzina košave u proseku iznosi oko 10 metara u sekundi ili 36 km na čas. Pojedini udari dostižu i trideset ili više metara u sekundi. Na primer, pojedini udari košave u januaru 1972. godine u Beogradu su dostizali 38 metara u sekundi ili 137 km na čas. Približne brzine zabeležene su i u martu 1957 i 1958. godine.

Radiosondažna merenja u Beogradu pokazuju da najveće brzine košava ima u sloju 200 do 300 metara iznad zemljine površine. Zato se ovaj sloj pri jakoj košavi može nazvati "prizemna mlazna struja" (D.Vukmirović,1977). Da košava u Beogradu može dostići orkansku brzinu pokazuje sledeći primer. U noći izmedju 16. i 17. oktobra 1976. godine došlo je do prodora hladnog vazduha iz oblasti Karpata i Vlaške nizije, kao i jačanja barskog gradijenta. Udari košave bili su sve jači, i oko 6,30 čas jedan udar dostigao je brzinu 36 metara u sekundi ili 130 km na čas, a to je pravi orkan. Toga jutra, udari košave u Vršcu bili su jači za 2 do 3 metra u sekundi. Na sl.2.34. prikazana je ka-

rta SR Srbije sa raspodelom pritiska i jačinom vetra, za 17.10.1976. u 07 časova.



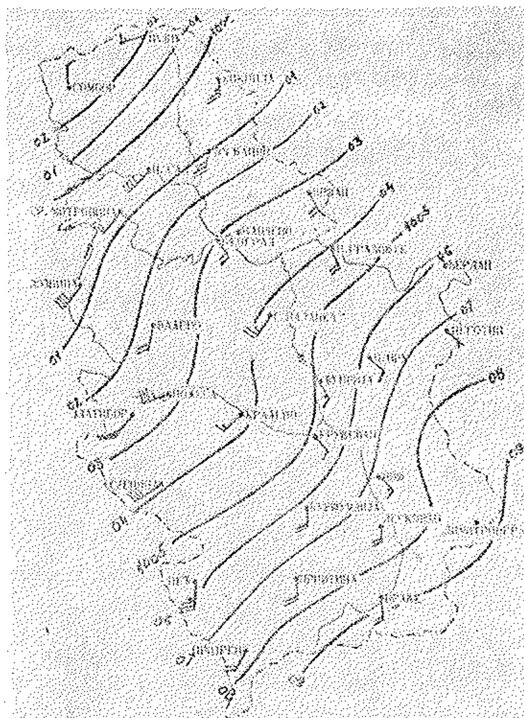
Sl.2.34. Raspodela pritiska i jakog vetra na dan 17.10.1976.

Jugozapadni vetar. Kada u zapadnom Sredozemlju dodje do dubljeg razvoja ciklona onda iznad Balkanskog poluostrva jača jugozapadno ili južno visinsko strujanje. Preko centralnog sredozemlja tada se širi topao vazduha, poreklom iz Severne Afrike. Duž Jadrana jugo donosi naoblačenja i kišu, a usled približavanja centra ciklona sa druge strane Dinarskih planina jugo ima fenski efekat. U Istočnoj Bosni, Zapadnoj Srbiji, delu Vojvodine i Slavonije uslovljava pretežno suvo vreme i osetan porast temperature. Na Jadranu udari juga dostižu najveće brzine u toku zime i proleća.

Jedna retka pojava jakog jugozapadnog vetra zabeležena je 17. februara 1955. godine na Bjelašnici. Toga dana južni orkanski vetar dostigao je brzinu 200 km na čas.

Drugi slučaj jakog jugozapadnog vetra zabeležen je u Zapadnoj Srbiji. Radiosondažna merenja su pokazala da je 10. aprila 1973. iznad teritorije naše zemlje duvao olujni i orkanski jugozapadni vetar sa srednjom brzinom oko 100 km na čas (28 metara u sekundi). Toga dana na Zlatiboru, oko 17 časova, orkanski južni vetar dostigao je brzinu od 170 km na čas. Vetar je iščupao iz korena mnoge stoletne borove, odnosio krovove sa kuća, kidao telefonske i električne provodnike. Na sl.2.35. prikazana je karta SR Srbije sa raspodelom pritiska i jačinom ve-

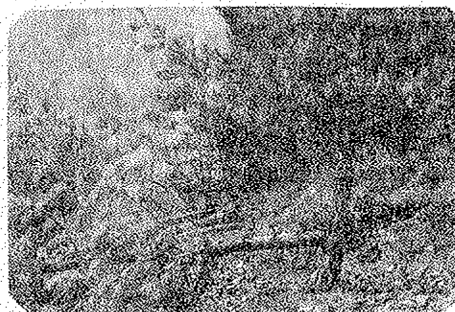
tra, za 10. april 1973. godine u 16 časova.



Sl.2.35. Raspodela pritiska i jakog vetra na dan 10.04.1973.

Istog dana i na Jadranu je vladalo nevreme. Oko Šibenika udari juga dostizali su 120 km na čas. U Kvarnerskom zalivu, jak jugo prekinuo je pomorski saobraćaj.

B u r a. Duž Jadranskog mora od Trsta do Ulcinja najčešće u zimskom periodu pri odredjenoj vremenskoj situaciji duva jak, slapovit i hladan severoistočni vetar, poznat kao bura. Ovaj vetar je, ustvari, prebacivanje hladnog vazduha preko Velebita i Dinarskih planina prema moru. Najveće brzine bura dostižu oko Rijeke, u podvelebitskom kanalu oko Senja i oko Šibenika. Prosečna brzina jake bure ispod Velebita je oko 100, a pojedini udari dostižu 200 km na čas. Prema medjunarodnoj tablici to su orkanske brzine.



Sl.2.36. Iščupani borovi na Zlatiboru usled jakog jugozapadnog vetra na dan 10.aprila 1973.

U toku leta bura na Jadranu je znatno slabija i počinje da duva posle prodora hladnog vazduha sa severozapada.

Severozapadni vetar. U istočnom delu zemlje, a posebno u dolini Morave, Timoka i Nišave jake udare ima i severozapadni vetar. Najjače udare ovaj vetar dostiže oko Negotina i Dimitrovgrada gde je dosta kanalisan.

Vetar pri nepogodi. U letnjoj polovini godine jaki olujni vetrovi javljaju se za vreme nepogode. Nosioci ovih nepogoda su oblaci jakog vertikalnog razvoja (kumulonimbusi). Jedna nepogoda je obično praćena grmljavinom, obilnim pljuskovima, gradom i jakim vetrom. Olujni vetrovi pri nepogodi kidaju električne i telefonske provodnike, čupaju drveće i odnose krovove sa kuća.

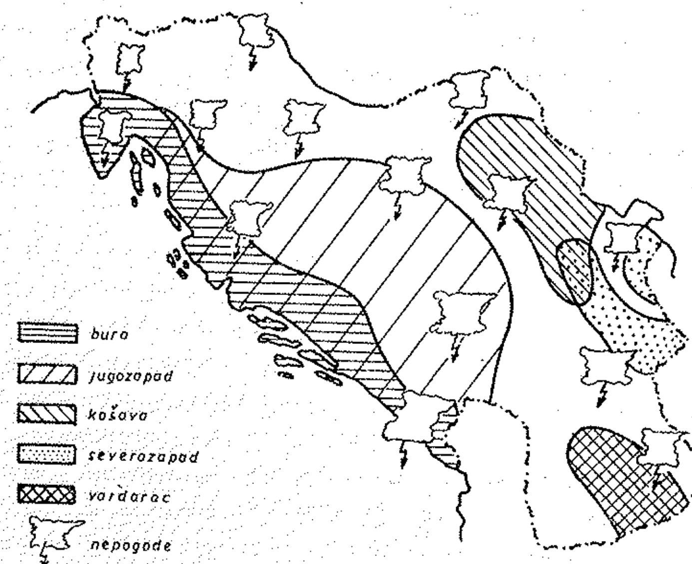
Prema merenjima na meteorološkoj opservatoriji u Beogradu i na meteorološkoj stanici na Surčinskom aerodromu pojedini udari olujnog i orkanskog vetra za vreme nepogode dostizali su brzinu od 70 do 160 km na čas. Jedna takva nepogoda sa orkanskim vetrom koja se dogodila izmedju 22. i 23. jula 1973. godine zahvatila je okolinu Zagreba, Sloveniju, Severnu Bosnu, a u ranim jutarnjim časovima, Vojvodinu i okolinu Beograda. Za 15 minuta koliko je nepogoda trajala u Beogradu nanela je ogromnu materijalnu štetu. Osim orkanskog vetra sa pojedinim udarima od 90 do 160 km na čas padao je i grad. Slična nepogoda dogodila se 22. maja 1974. godine. Orkanski vetar sa pljuskovima i grmljavinom zahvatio je krajem dana Vojvodinu Sloveniju i severne delove uže Srbije. Orkanski vetar sa pojedinim udarima 100 do 160 km na čas naneo je materijalne štete Beogradu, Loznici, Valjevu i drugim mestima.

Još jedan slučaj nepogode zabeležen je u Nišu na dan 26. avgusta 1958. godine. Oko 16 časova orkanski vetar dostigao je brzinu oko 40 metara u sekundi i to je do danas najjači udar vetra u jugoistočnoj Srbiji.

Na sl.2.37. prikazana je teritorijalna raspodela javljanja karakterističnih jakih vetrova u Jugoslaviji, a na osnovu podataka o meteorološkim merenjima i osmatranjima pravca i brzine vetra u mreži meteoroloških stanica.

Za planiranje, izgradnju i eksploataciju gradjevinskih objekata i konstrukcija značajno je proučavati prostorne i vremenske raspodele karakterističnih jakih vetrova koji se

javljaju na teritoriji Jugoslavije. U svrhu toga podaci o dodatnom opterećenju usled dejstva vetra na gradjevinske objekte i konstrukcije moraju se proračunavati na specifičniji način vodeći računa o sledećim faktorima.

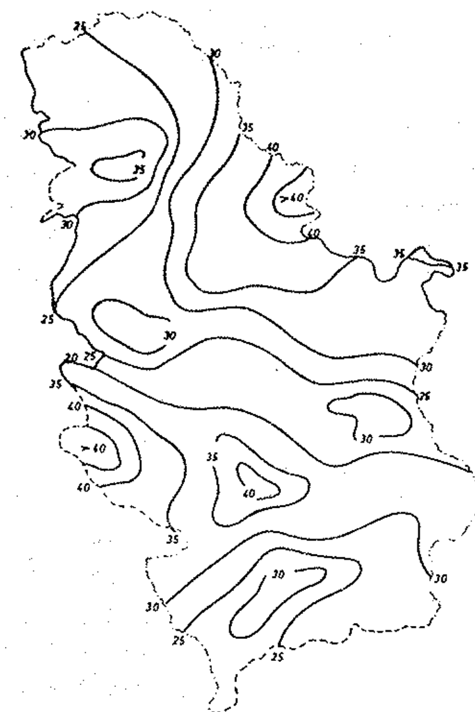


Sl.2.37. Raspodela karakterističnih jakih vetrova u Jugoslaviji

1) Potrebno je izraditi osnovne karte o verovatnoći računatih maksimalnih brzina vetra. Na sl.2.38. daje se osnovna karta o prostornoj raspodeli verovatnoće računate maksimalne brzine vetra koja se javlja jednom u 5 godina za teritoriju SR Srbije, za visinu 10 m iznad zemljine površine.

2) S obzirom na lokacije gradjevinskih objekata i konstrukcija u različitim fizičko-geografskim i klimatskim uslovima potrebno je ispitati kompleksne uticaje reljefa, šumskih masiva, urbanih sredina i sl. na vetar.

3) Za pojedina karakteristična područja naše zemlje ispitati i predložiti koeficijente popravke zbog trajanja pritiska vetra, zaštićenosti, promene vetra sa visinom, oblika objekta ili konstrukcije i dr.



Sl.2.38. Raspodela računate maksimalne brzine vetra koja se javlja jednom u 5 godina

Analizom karakterističnih jakih vetrova na teritoriji Jugoslavije i prema predloženoj metodologiji o obradi podataka o vetru i izračunavanju dodatnog opterećenja, neophodno je za potrebe projektovanja, izgradnje i eksploatacije gradjevinskih objekata i konstrukcija izraditi osnovne karte sa teritorijalnom raspodelom verovatnoće računate maksimalne brzine koja se javlja jednom u 5, 10, 15, 20 i 50 godina, za visinu 10 m iznad zemljine površine, a koja bi se dopunjavala svake godine.

L I T E R A T U R A:

Thom,H.C.S, FREQUENCY OF MAXIMUM WIND SPEEDS, Pro, Amer. Soc. of Civil Engineers, 1954. november

RASČOTNIE KLIMATIČESKIE USLOVIJA DLJA VISOKOVOLTNIH LINIJ ELEKTROPEREDAČI, Trudi vniie, Gosudarstv.energo izdat. 1962.

Zavarina, M.V: O RASČOTE MAKSIMALNIH SKOROSTEJ VETRA DLJA OPREDELJENIJA VETROVIH NAGRUZOK NA VISOTNIE SOORUŽENIJA, Meteorologija i gidrologija, No 3 1968.

Lajhtman,D.L.: PROFIL VETRA I OBMEN V PRIZEMNOM SLOE ATMOSFERI, Izv.An.SSSR, serzija geografičeskaja i geofizičeskaja, T.VIII, 1944, No 1

Geiger, R.: THE CLIMAT NEAR THE GROUND, Harvard Univ.Press, Cambridge, Mass. 1957.

Gumbel,E.J.: SIMPLIFIED PLOTTING OF STATISTICAL OPSERVATIONS Trans.Am.Geophys.Union, v.26,part 1, 1945.

Plazinić,S.,Miljković N.: ODREDJIVANJE MAKSIMALNE BRZINE VETRA VII Savetovanje klimatologa Jugoslavije,Budva

Zavarina,M.V. STROITELNAJA KLIMATOLOGIJA,Gidrometeoizdat, Leningrad, 1976.

Djukanović D, S.Plazinić:EKSPERIMENTALNA STANICA ZA PROUČAVANJE ZALEDJIVANJA I DEJSTVA VETRA NA DALEKOVODE,Zajednica jugoslovenske elektroprivrede,Beograd, 1969.

Handžić, M.: METODE OSMATRANJA ZALEDJIVANJA I RAZORNIH UDARA VETRA NA PODRUČJU SR BiH, Elektroprenos,Sarajevo 1973.

PRAVILNIK O TEHNIČKIM MEREMA ZA IZGRADNJU NADZEMNIH ELEKTROENERGETSKIH VODOVA,1973.

KOMENTAR PRAVILNIKA O TEHNIČKIM MERAMA ZA IZGRADNJU NADZEMNIH ELEKTROENERGETSKIH VODOVA,1976.

Vujičić R., VETAR U SR SRBIJI, RHMZ SRS, Beograd, 1963.

Popović Z.,Plazinić S., KARAKTERISTIČNI VETROVI U NAŠOJ ZEMLJI I NJIHOVE ODLIKE, Zajednica jugoslovenske elektroprivrede, Savetovanje o planiranju,izgradnji i eksploataciji elektrodistributivnih mreža Jugoslavije, H. Novi, 1977.

Ber V., TEHNIČESKAJA METEOROLOGIJA, Gidrometeoizdat, 1966.

METEOROLOGIČESKIE NAGRUZSKI NA SOORUŽENIJA, Trudi GGO: br. 309 i 333 iz 1973. i 1974.

"Sl.list SFRJ" broj 51/73

"Sl.list SFRJ" broj 12/65

"Sl.list SFRJ" broj 41/64

Berštajn,M.F.: VOZDEJSTVIE VETRA NA ZDANIJA I SOORUŽENIJA, TR.CNIISK, 1973, Vip 21.

Berštajn,M.F.: SAVREMENNOE SOSTOJANIE VOPROSA O VOZDEJSTVIM VETRA NA VISOKOE SOORUŽENIJA,Tr. IEM,1972. Vip.27.

MEDJUNARODNO SAVETOVANJE CIGRE XXIII,1970 i 1968.

Zavarina, M.V.: RASČOTNIE SKOROSTI VETRA NA VISOTAH NIŽNEVO SLOJA ATMOSFERI, Gidrometeoizdat,1971. Leningrad

SNiP-A.G.-72 STOITELJNAJA KLIMATOLOGIJA I GEOFIZIKA,Strojizdat, 1973. Moskva

SNiP-II-A-11-62 NAGRUZKI I VODZEJSTVIJA, Gostrojizdat, 1963.

AMERICAN NATIONAL STANDARD BUILDING CODE REQUIREMENTS FOR MINIMUM DESTING LAODS IN BUILDING AND OTHER STRUCTURES Mear.Nat.Stand. Inst.N.Y. 1972.

Thom H.C.S.: NEW DISTRIBUTION OF EXTREME WINDS IN TEH UNITED STATES J.Struct.Div.Asce. Jus 1968,vol 94

Thom H.C.S.: SOME-METHODS OF CLIMATOLOGICAL ANALAYSIS TECHN NOTE N 81, WMO 1956.

STRUCTURAL LOADS AND PROCEDURES, PT 4. Desing. Sect. 4.1 National Building code of Canada, 1970. Effect of wind 148.p.

Davenport,A.G.: GUST LOADING FAKTORS, J.Struct.Div.Proc.Asce Jun 1967. vo. 93. st.3.

Davenport,A.G.: THE DEPENDANCE OF WIND LOADS ON METEOROLOGICAL PARAMETERS, SYMP. ON WIND EFECTS ON STRUCTURES Ottawa, 1967.

Djukanović ,D. Handžić,M.,Kirigin B., Plazinić S.: OBRADA PODATAKA ZA POTREBE PROJEKTOVANJA I IZGRADNJE DALEKOVODA Junako CIGRE XIII Sav.elektroenergetičara Jugoslavije,Bled, 1977.

ZAGADJENOST VAZDUHA

Kada se projektuju industrijski objekti, u prvom redu rudarsko-energetsko-hemijski, kao što su termoelektrane, toplane, azotare, rafinerije i dr. koji su veliki izvori zagadjenosti vazduha i veoma opasni za životnu sredinu. Jedan od važnijih zadataka projektanta je da reši na najpovoljniji način izbacivanje štetnih materija iz izvora u okolnu atmosferu, a to znači da koncentracije ovih na zemljinoj površini ne predju maksimalno dozvoljene vrednosti u jedinici vremena odredjene republičkim, pokrajinskim ili opštinskim propisima. U ovakvim slučajevima kada se traži najpovoljnije rešenje imisije zagadjenog vazduha, naročito kod jediničnih izvora, najčešće se primenjuje model prostorne i vremenske raspodele koncentracije štetnih materija pri tzv. ekonomičnoj visini izvora-dimanjaka i karakterističnim stabilnostima prizemnog sloja atmosfere, a na osnovu jednačina atmosferske difuzije. Sa tehnološkog aspekta zaštite okolne sredine primenjuju se i drugi načini, kao što je specijalna priprema ložišta ili postavljanje filtera na dimnjaku čime se smanjuje unošenje štetnih materija u okolnu atmosferu.

Proračunavanje prostorne i vremenske raspodele zagadjenosti vazduha u lokalitetu budućeg industrijskog objekta, pri različitim visinama dimnjaka i karakterističnim stanjima atmosfere, veoma je složen zadatak, jer zahteva kompleksnu analizu meteoroloških, fizičko-hemijskih i fizičko-geografskih parametara. Pri proračunu raspodele zagadjenog vazduha moraju se uzeti u obzir dva osnovna činioca: normativi o maksimalno dozvoljenim koncentracijama i opravdanosti gradnje visokog dimnjaka.

Sa meteorološkog aspekta zaštita okolne sredine od zagadjenog vazduha u lokalitetu budućeg industrijskog objekta sastoji se u sprovodjenju brojnih programa o meteorološko-klimatološkim istraživačkim radovima. Sadržaj ovakvih radova obuhvata onu meteorološko-klimatološku aktivnost koja je izložena u propisima o zaštiti i unapredjenju životne sredine, projektovanju, gradnji i eksploataciji velikih gradjevinskih objekata-zagadjivača, ili dr. propisa i preporuka. U glavnim crtama radovi obuhvataju:

a) Analizu standardnih višegodišnjih meteoroloških podataka prikupljenih sa glavnih i drugih meteoroloških stanica koje se nalaze u klimatskom i fizičko-geografskom području u kome se gradi objekat;

b) Postavljanje specijalne meteorološke stanice i organizovanje sistematskih i neprekidnih prizemnih i visinskih meteoroloških merenja u lokalitetu u kome se gradi objekat;

c) Organizovanje terenskih uporednih merenja koncentracije zagadjenog vazduha i meteoroloških parametara, u širem području na kome se gradi objekat, i

d) Terenska mikrometeorološka i mikroaerološka merenja i ispitivanja u lokalitetu i širem području na kome se gradi objekat.

Obradom i analizom višegodišnjih osmatranja i merenja meteoroloških elemenata i pojava dobijaju se tzv. meteorološke podloge koje se koriste u izboru lokacije i raspodeli budućih objekata. Meteorološke podloge takodje sadrže vrlo korisne podatke za projektante: dodatna opterećenja usled leda, snega, vetra, dijapazone ekstremnih temperatura i čestine javljanja pojedinih temperaturnih intervala; zatim, za proračune moći hladjenja kod termotornjeva (razne statističke vrednosti o vlažnosti vazduha i temperaturi mokrog termometra), i drugih elemenata i pojava koje se najčešće koriste u gradjevinskoj meteorologiji.

Detaljnije ispitivanje meteoroloških uslova u lokalitetu budućeg objekta zahteva postavljanje specijalne meteorološke stanice i merenje meteoroloških parametara neophodnih za proračun visine dimnjaka i raspodelu zagadjenosti vazduha. Podaci sa ove stanice poslužiće radi uporedjenja sa višegodišnjim podacima najbližih meteoroloških stanica, kao i dobijanje podataka na lokaciji budućeg objekta.

Da bi se zaključilo o kapacitetu prizemnog sloja atmosfere u lokalitetu budućeg objekta, sprovode se visinska merenja meteoroloških parametara: temperature i vlažnosti vazduha

i pravca i brzine vetra. Terenska ispitivanja omogućuju da se upotpune ovi podaci o mikrometeorološkim i mikroaerološkim uslovima.

Merenja koncentracije gasovitih i čestičnih zagadjenja u području budućeg objekta neophodna su radi utvrdjivanja postojećeg "fona zagadjenja", koji se uzima u obzir pri proračunu prostorne i vremenske raspodele zagadjenosti vazduha budućeg objekta.

Zbog vrlo kratkog vremena koje stoji na raspolaganju za sprovodjenje meteorološko-klimatoloških istraživačkih radova, a to je vreme od podnošenja predloga za gradnju do zahteva za izradu investiciono-tehničke dokumentacije ili glavnog projekta, ne mogu se prikupiti reprezentativni podaci o prosečnim stanjima meteoroloških parametara u lokalitetu, a naročito onih koje se koriste za proračun visine dimnjaka i prostornu raspodelu. Svakako da rezultati višegodišnjih osmatranja i merenja u prizemnom sloju u širem području u kome se gradi objekat mogu dati realnije meteorološke parametre za realizaciju projekta. Medjutim, meteorološke službe u želji da se pomogne projektantima sprovode ovakve programe, svesne brojnih nedostataka, ali trudeći se da se rezultati merenja i osmatranja obrade i analiziraju na najbolji mogući način, prema preporukama Svetske meteorološke organizacije i iskustvima meteoroloških službi drugih zemalja. U vrlo kratkom vremenu potrebno je projektantima dostaviti neophodne rezultate i odgovoriti na njihova pitanja: koju visinu dimnjaka, brzinu izlazećeg dima i njenu temperaturu treba uzeti u projekat, pa da koncentracija zagadjenog vazduha u prizemnom sloju atmosfere ne predje zakonom odredjenu maksimalnu vrednost.

Treba istaći, da veći deo programa koji obuhvata prizemna i visinska meteorološka osmatranja i merenja koncentracija ne prestaje ni posle izgradnje objekta već se nastavlja i u njenoj eksploataciji, čak znatno proširen u delu o kontroli kvaliteta vazduha. Tada se prikupljaju značajni podaci o istovremenim merenjima meteoroloških i tehnoloških parametara, a zatim, prognoziraju nivoi zagadjenosti vazduha, koji se dostavljaju nadležnoj službi radi sprovodjenja preventivnih mera zaštite životne sredine.

Metodologiju obrade i analize meteoroloških parametara, koji se koriste pri proračunu visine dimnjaka kao i metod izrade modela o prostornoj raspodeli koncentracije štetnih materija, nalazimo u radovima poznatih autora: V.G.Satna (1950), F.Paskvila (1959.,1962), M.E.Berljanda (1964.,1971.,1974.),J.S.Tarnera (1956.,1970.), J.Z.Holanda (1953.),D.H. Slejda (1968), R.S.Skorera (1959), C.H.Bosankita (1959).D.E. Kramera (1959), F.A.Giforda (1961), G.A.Briksa (1965),M.Smita (1968),D.Sepešija (1964.), D.L. Lajhtmana (1965.) i mnogih drugih.

U osnovi svakog metoda je statistički model koji uzima u obzir kompleksne uticaje meteoroloških faktora na prostornu raspodelu štetnih materija iz dimnjaka. U ovom delu razmatraće se modeli uzeti iz radova D.Sepešija (1964), F.Paskvila (1962.) i J.S.Tarnera (1970).

3.1 Osnova metodologije

Za osnovnu karakteristiku zagadjenosti vazduha uzima se srednji godišnji broj časova sa koncentracijama SO_2 koje prelaze zadatu veličinu. Matematički model odredjen je sledećim kriterijumima:

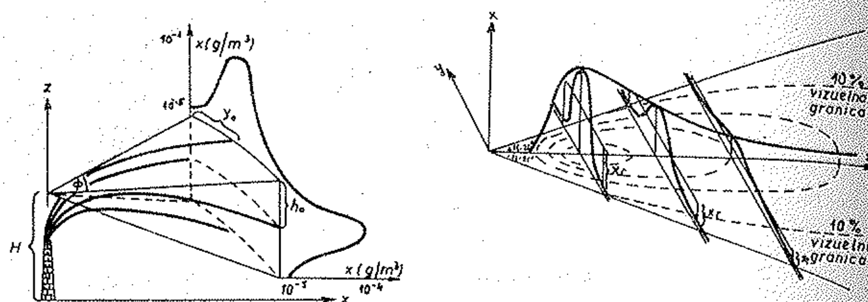
1. Koristi se sistem pravouglih koordinata. Duž jedne od hotizontalnih komponenti šire se štetne materije pod uticajem srednje brzine vetra; na sl.3.1 - duž horizontalne komponente X.

2. Na nekom rastojanju od izvora (X) koncentracije štetnih materija rasporedjuju se prema Gausovoj raspodeli, i to tako, da se nalaze u tačkama koje su na preseku horizontalne komponente (Y) i vertikalne komponente (Z), kako je prikazano na sl.3.1 (b).

Zbog difuzije štetnih materija upravno na pravac kretanja vetra i vertikalno, javljaju se izrazi za standardnu devijaciju odgovarajućih komponenti i za različita rastojanja.

3. Pretpostavlja se da je turbulencija stacionarna, tj. nema promene turbulencije u toku vremena.

4. Pretpostavlja se da je zemljina površina na kojoj se nalazi izvor savršeno odražavajuća, odnosno, pretpostavlja se da pored stvarnog izvora na visini z=h postoji i prividan izvor na visini $z = -h$.



(a) (b)

Sl.3.1. (a i b) Raspodela koncentracije štetnih materija iz stacionarnog tačkastog izvora

3.1.1 O Gausovoj raspodeli

Gausovu raspodelu izražavamo jednačinom krive greške, na sledeći način:

$$y = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-M}{\sigma}\right)^2} \qquad (3.1)$$

M je srednja vrednost od X a σ -rasipanje.

Ako jednačinu integralimo od $-\infty$ do ∞ i prostor ispod krive izjednačimo sa jedinicom dobijamo jednačinu Gausove raspodele čestina:

$$C(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}\, e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-M}{\sigma}\right)^2} \qquad (3.2)$$

C (X) je verovatnoća gustine koncentracije odredjena srednjom vrednošću i rasipanjem. Jedinica normalne raspodele je rasipanje.

Normalnu devijaciju dobijamo deljenjem odstupanja od srednje vrednosti sa rasipanjem.

U slučaju binomne raspodele odnosa verovatnih gustina za X i Y pravce koristimo sledeću jednačinu:

$$\sigma(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y}\, exp - \frac{1}{2}\left[\frac{(x-\bar{x})^2}{\sigma_x^2} + \frac{(y-\bar{y})^2}{\sigma_y^2}\right] \qquad (3.3)$$

u kojoj su σ_x, σ_y komponente rasipanja u pravcu X i Y.

Giford(1959) je medju prvima ukazao da se disperzija zagadjujućih materija može jednostavnije prikazati ukoliko se pretpostavi da koncentracija u dimnoj perjanici sledi izvesnu raspodelu, odnosno, da se koncentracija iz utvrdjenog, stacionarnog izvora menja na izvesnoj visini duž prosečnog pravca vetra, a prema normalnoj raspodeli, i to, upravno i vertikalno na pravac vetra, Ako širinu dimne perjanice pri Gausovoj raspodeli odredimo kao rastojanje dve tačke podjednako udaljene od središne linije na kojoj su rasporedjene srednje koncentracije, tada vrednosti koncentracije u krajnjim tačkama iznose 1/10 maksimalne vrednosti.

Na sl.3.2. prikazane su raspodele vrednosti gustina.

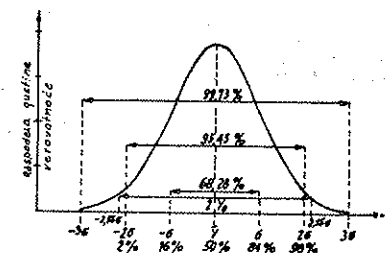
Izraz za horizontalno i vertikalno rasprostiranje imaju sledeće oblike:

-za horizonalnu raspodelu:

$$2y_o = 4.3\sqrt{(\bar{y}^2)}$$

-za vertikalnu raspodelu:

$$2h_o = 4.3\sqrt{(\bar{z}^2)}$$



Sl.3.2. Gausova raspodela gustina za horizontalnu raspodelu

Ako se uvedu oznake za parametre:

h-visina dimnjaka, u m,

V_h-srednja brzina vetra na visini h, u m/s,

Q-izdašnost ili jačina izvora, u 10^{-3} kg/s

H-efektivna visina dimnjaka, u m.

$\mathcal{H}(x,y,z)$ - koncentracija štetnih materija, u mg/m³, a u tački odredjenoj koordinatama x,y,z tada vrednosti relativne koncentracije koje izražavamo odnosom $\mathcal{H}(x,y,z).V_h/Q$ možemo izračunati pomoću jednačine 3.3, na sledeći način

$$\frac{\mathcal{H}(x,y,z)}{Q}\bar{V}_h = \frac{1}{\pi\sigma_y\sigma_z}\, exp - \left(\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right)\left[exp - \frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2} + exp - \frac{(z-H)^2}{2\sigma_y^2}\right] \qquad (3.4)$$

neka su: y=0 i z=H (na površini zemlje z=0), tada je

$$\frac{\mathcal{H}(x,y,z)}{Q}\bar{V}_h = \frac{1}{2\pi\sigma_y\sigma_z}\, exp\, \frac{y^2}{2\sigma_y^2}\, exp - \frac{H^2}{2\sigma_z^2} \qquad (3,5)$$

Jednačina 3.5 je uopštena jednačina difuzije. Pomoću ove jednačine dobijamo vrednost koncentracije koja traje više minuta. U saglasnosti je sa jednačinom kontinuiteta, može se izraziti pomoću krive Gausove raspodele, a nedostaci se javljaju pri proračunu kada koncentracija na rastojanju (x) opadne do nule, jer nije difundirala do te tačke.

3.1.2 Odredjivanje σ_y i σ_z

Rešenje opšte jednačine difuzije zavisi od vrednosti σ_y i σ_z. Ove se menjaju sa rastojanjem od izvora i stabilnosti atmosfere. Za odredjivanje vrednosti σ_y i σ_z koriste se Satnove empiričke jednačine (Sutton, 1934):

$$\sigma_y^2 = \frac{1}{2}C_y^2 X^{2-n} \quad ; \quad \sigma_z^2 = \frac{1}{2}C_z^2 X^{2-n} \qquad (3.6)$$

U kojom su $C_y(m^{n/2})$ i $C_z\ (m^{n/2})$ koeficijenti difuzije sa Gausovim parametrom.

Empiričke odnose σ_y i σ_z i rastojanja (x) za svaku stratifikaciju posebno, prvi je ustanovio Kramer (Cramer, 1953). Promenu dimne perjanice u vertikalnom (h_o/m) i horizontalnom (Ø) pravcu, pri različitim uslovima stabilnosti atmosfere i na različitim rastojanjima od izvora, proučavali su Mid, 1959. i Paskvil (Pasquill, F.1961). Giford (1961) je izrazio h_o i Ø pomoću koeficijenta disperzije na sledeći način:

$$tg\,\frac{\theta}{2} = \frac{2.15\sigma_y}{x} = \frac{\bar{y}_o}{x} \quad ; \quad h_o = 2.15\sigma_z \qquad (3.7)$$

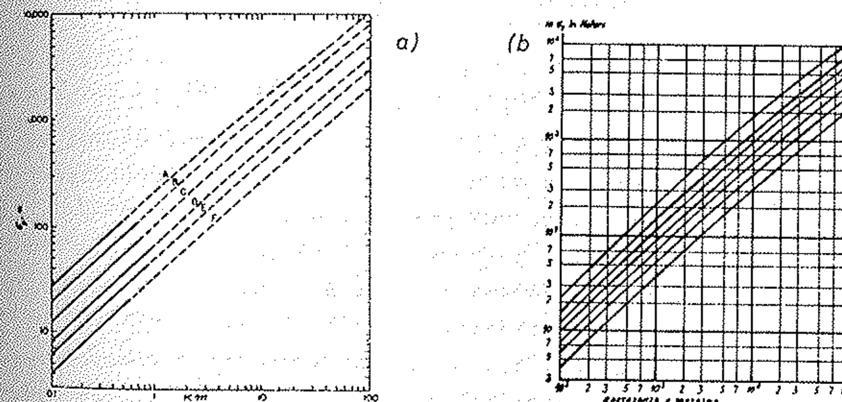
2,15 σ_y i 2.15 σ_z-udaljenja od središne linije do krive na kojoj koncentracije iznose 10% srednje vrednosti.

Vrednosti Ø i h_o, transformisane su u koeficijente σ_y i σ_z, a zavise od rastojanja i stabilnosti atmosfere. Zbog toga se pri ispitivanju lokaliteta posvećuje posebna pažnja kategorizacijama karakterističnih stanja stabilnosti atmosfere, kao i fluktuacijama vetra.

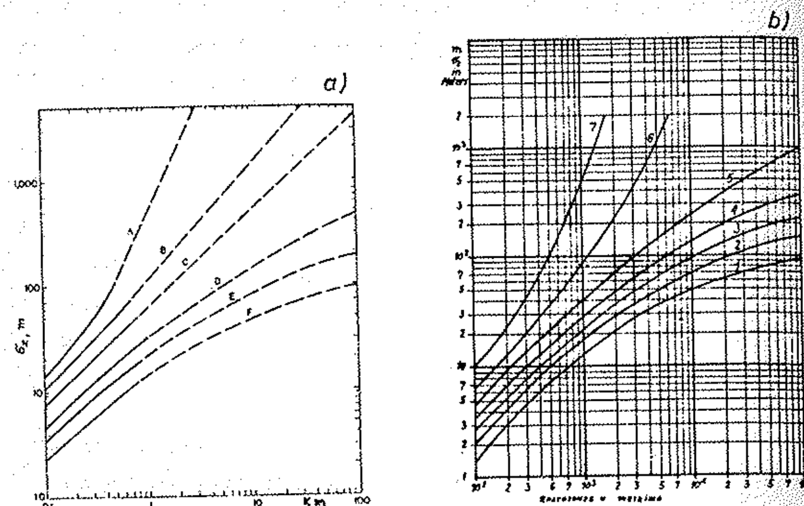
Za dalje rešavanje problema difuzije potrebno je uskladiti kategorije stabilnosti dobijene na osnovu fluktuacije vetra i kategorija ustanovljenih gradijetom temperature u prizemnom sloju.

Difuzioni koeficijenti (σ_y i σ_z) kao što je rečeno, predstavljaju devijacije ugla azimuta i elevacije. Smit (1968) daje formule u kojima su prikazane njihove zavisnosti od ugla azimuta i elevacije. Medjutim, rezultati mnogih ispitivanja su pokazali da postoje složeni odnosi izmedju difuzionih koeficijenata σ_y i σ_z i stanja atmosfere. Tarner (1970) je prikazao horizontalne i vertikalne koeficijente disperzije u funkciji rastojanja od izvora u pravcu vetra.

Pet kategorija koje su predložili Paskvil i Kramer 1961. i 1969.) uskladjene su sa kategorijama date po Sepešiju. Naime, Sepeši je uspešno uskladio Gifordove vrednosti za σ_y i σ_z date za šest kategorija stabilnosti, na sedam kategorija. Na sl.3.3 i 3.4 prikazane su krive σ_y i σ_z u funkciji rastojanja od dimnjaka i stratifikacije.



Sl.3.3. Horizontalni koeficijenti rasipanja (disperzije) u zavisnosti od rastojanja u pravcu vetra, prema Tarneru (a) i Sepešiju (b)



Sl.3.4. Vertikalni koeficijenti rasipanja (disperzije) u zavisnosti od rastojanja od izvora u pravcu vetra, prema Tarneru (a) i Sepešiju (b)

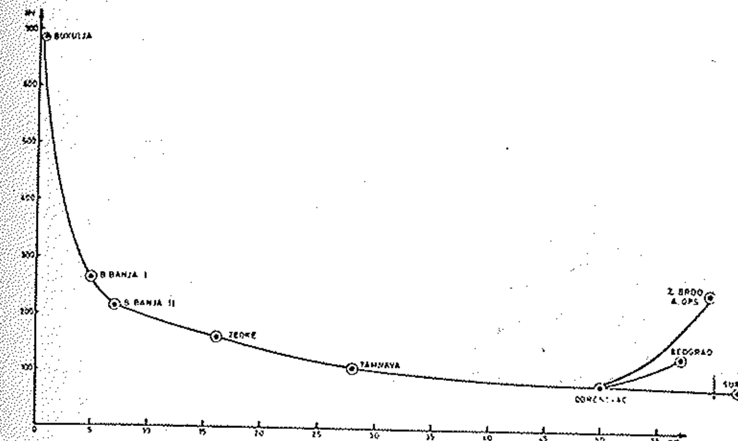
3.1.3 Kategorije stabilnosti atmosfere

Difuzija zagadjujućih materija u vazduhu zavisi od termičkog režima, odnosno od toplotne strukture (stratifikacije) atmosfere, koju ocenjujemo pomoću jednačine $\Delta t = -\gamma \Delta z$, i u kojoj su: Δt-razlika temperature izmedju dva nivoa, a Δz razlika visine izmedju tih nivoa (obično se uzima 100 m), a γ vertikalni gradijent temperature.

U srednjim i višim slojevima troposfere temperatura prosečno opada 0,65°C za svakih 100 m. U prizemnom sloju, neposredno uz zemljinu površinu, vrednosti vertikalnog gradijenta temperature znatno odstupaju od pomenute vrednosti, a uglavnom zbog uticaja zemljine površine i konfiguracije terena.

Radi primera, prikazaće se kategorije stabilnosti atmosfere izdvojene na osnovu podataka o temperaturi vazduha izmerenoj na specijalnim meteorološkim stanicama koje se nalaze na različitim nadmorskim visinama. Izabrane su stanice u Tamnavsko-kolubarskom basenu. Na sl.3.5. prikazana je raspodela

ovih stanica. Iz podataka o temperaturi vazduha izračunati su vertikalni gradijenti temperature i razvrstani u intervalima



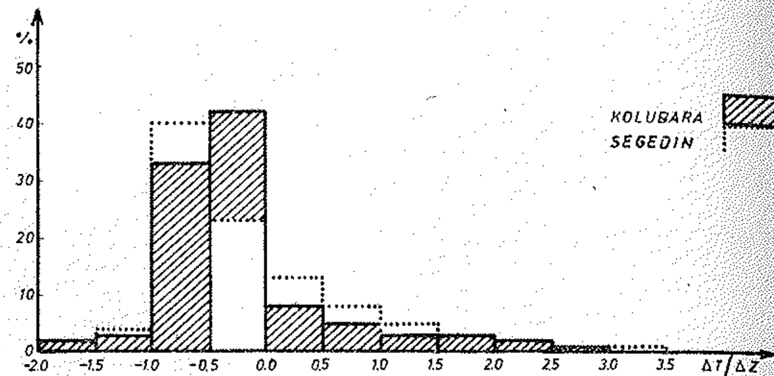
Sl.3.5. Raspodela specijalnih i glavnih meteoroloških stanica u tamnavsko-kolubarskom području

po 0.5°C, a zatim su tražene njihove čestine javljanja. Relativne čestine ovih tzv. pseudogradijenta računate su po časovima. Uopšte se može reći da je temperatura vazduha opadala sa visinom najčešće u toku dana od 10 do 16 časova, a povećavala se u ranim jutarnjim i kasnim večernjim časovima. Od ukupnog broja slučajeva preko 5% je zabeleženo sa gradijentom 2°, i to najčešće oko 13 časova; Izrazit porast temperature vazduha sa gradijentom od 3.1 do 3.5°C/100, zabeležen je samo u 1% slučajeva, i to, oko 01-04 časa. Raspodela pseudogradijenata temperature pokazuje rasipanje u dijapazonu od-2.5 do 3.5°C/100.

Raspodela čestine javljanja vertikalnih gradijenata za svakih 0.5° prikazana je u vidu histograma. Relativne čestine su uporedjenje sa relativnim čestinama koje je Sepeši (1964) dobio za Segedin (sl.3.6).

Iz histograma je lako videti da se promene relativnih čestina gradijenata, date prema Sepešiju za Segedin i za tamnavsko-kolubarsko područje, relativno dobro slažu mada se radi, verovatno, o manjim razlikama fizičko-geografskih i mikroklimatskih uslova. Najčešće čestine javljanja vertikalnog

gradijenta u tamnavsko-kolubarskom području su u intervalima od -0.5 do 0.0°C/100 m.



Sl.3.6. Histogram relativnih čestina gradijenta temperature vazduha za Kolubaru i Segedin

Relativne čestine javljanja vertikalnih gradijenata za Panonsku niziju, prema podacima Sepešija i za tamnavsko-kolubarsko područje prikazane su u tabl.3.1, a odnosi izmedju vertikalnog gradijenta temperature vazduha i odgovarajućih kategorija stabilnosti prema Paskvilu, Krameru i Sepešiju u tabl. 3.2.

Tablica 3.1

Relativne čestine javljanja vertikalnog gradijenta temperature ($\Delta t/\Delta z$) za tamnavsko-kolubarsko područje i Panonsku niziju (u %)

Vertik. gradijent	-2.0 -1.5	-1.5 -1.0	-1.0 0.0	-0.5 0.0	0.0 0.5	0.5 1.0	1.0 1.5	1.5 2.0	2.0 2.5	2.5
Tamnav.-Kolub. područje %	1.0	3.6	33.0	42.0	8.0	4.0	3.6	3.3	2.0	-
Panonska nizija %	1.0	4.0	40.0	23.0	1.3	8.0	5.0	3.5	1.5	1.0

Tablica 3.2

Vertikalni gradijenti temperature vazduha ($\Delta t/\Delta z$, °C/100m) i kategorije karakterističnih stanja, prema Sepešiju, Krameru i Paskvilu

		Kategorije prema Sepešiju	Kategorije prema Krameru		Kategorije prema Pasvkilu
-2.0 -1.5	7	Nadadijabatski gradijent	20-25	Jako nestabilno	A,B
-1.5 -1.0		Nadadijabatski gradijent	15-10	Umereno nestabilno	C
-1.0 -0.5	6	Normalni gradijent	10-8	Blisko neutralnom	D
-0.5 0.0	5	Negativna izotermija	7	Blisko neutralnom	D
0.0 0.5	4	Pozitivna izotermija	6	Umereno stabilno	E
0.5 1.0	3	Slaba inverzija	5	Umereno stabilno	E
1.0 1.5	2	Umerena inverzija	4	Umereno stabilno	E
1.5 2.0		Jaka inverzija	3	Stabilno	F
2.0 2.5	1	Jaka inverzija	3	Stabilno	F
2.5		Jaka inverzija	2	Stabilno	F

Da bi se odredile stabilnosti atmosfere u prizemnom sloju prema Paskvilovoj kategorizaciji stabilnosti moraju se uzeti u obzir podaci o brzini vetra,oblačnosti i sunčevom rzačenju,kako je prikazano u tablici 3.3.

Detaljniju analizu o čestinama javljanja kategorija stabilnosti atmosfere prema Paskvilovoj,Tarnerovoj i Bubnjikovoj kategorizaciji za područja na teritoriji SR Srbije dali su B.Anić i M.Ćirić (1975. i 1976).

Uporedjujući dnevne i godišnje hodove vertikalnih gradijenata temperature vazduha i njihove čestine javljanja za tamnavsko-kolubarsko područje i Panonsku niziju,Sepešijeva kategorizacija[1] je vrlo pogodna za područja na teritoriji

1) Napomena: Vertikalni gradijent temperature vazduha,prema Sepešiju je $\Delta t/\Delta z$, za razliku od uobičajenog kada se posmatra γ , odnosno $\Delta t/\Delta z = -\gamma$ (v.dodatak I).

SR Srbije, u sledećem obliku:

Kategorije stabilnosti	gradijent ($\Delta t/\Delta z$) °C/100m
1. Stabilno stanje atmosfere:	
-jaka inverzija	1.6
-umerena inverzija	1.5 do 1.1
-slaba inverzija	1.0 do 0.6
2. Slabo-stabilno stanje atmosfere:	
-pozitivna izotermija	0.5 do -0.1
-negativna izotermija	0.0 do -0.5
-normalna izotermija	-0.6 do -1.0
3. Nestabilno stanje atmosfere:	
-labilna stratifikacija	-1.1

Prosečne vrednosti vertikalnih gradijenata prikazane su u vidu izopleta i pokazuju vremensku raspodelu stabilnosti atmosfere po časovima u toku godine.

Tablica 3.3

Paskvilova kategorizacija stabilnosti atmosfere

Vetar Brzina vetra izmerena na visini 10 m iznad tla	Sunčevo zračenje Dan			Oblačnost Noć	
	Jako (1)	Umereno (2)	Slabo (3)	pokriv.nebo ili 4/8 niske oblačn.	Vedro nebo ili 3/8 oblačnosti
2	A	A-B	B	-	-
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
6	C	D	D	D	D

1) "Jako zračenje Sunca se odnosi na visinu Sunca 60° iznad horizonta u letnje sunčano popodne sa vrlo konvektivnom oblačnošću ili potpuno vedrim nebom"
2) "Umereno zračenje Sunca se odnosi na letnji dan sa nešto rasturenom oblačnošću".
3) "Slabo zračenje Sunca se odnosi na popodnevne časove i to za letnji dan sa slabom oblačnošću ili sunčan dan sa Suncem 15-25° pri vedrom nebu".

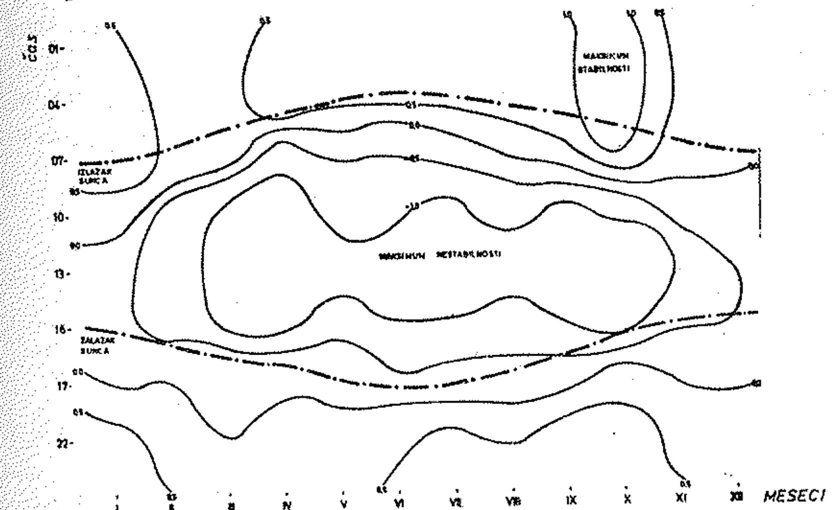
Klasu A odredjuju velika disperzija i nestabilno stanje, a klasu F najmanja disperzija i stabilno stanje.

Proces difuzije štetnih materija u okolini budućeg industrijskog objekta upravo zavisi od čestine javljanja i trajanja, kao i od intenziteta prikazanih stanja atmosfere. Pozitivni gradijenti pokazuju porast temperature sa visinom, tj. sklonost temperature ka pojavi inverzije.

U posebnom odeljku o radiosondažnim ispitivanjima daju se podaci o temperaturnim inverzijama u području Beograda.

Višegodišnje razlike temperature za period 1964.-1969. sa meteoroloških stanica Surčin-aerodrom i Zeleno brdo poslužile su za proračun vertikalnog gradijenta temperature vazduha u prizemnom sloju za uže područje grada Beograd. Na sl.3.7 do 3.14. prikazane su vremenske raspodele čestine javljanja karakterističnih stanja.

Na sl.3.7 prikazane su izoplete za "prosečni gradijent temperature vazduha $(\Delta t/\Delta z)$" koje pokazuju raspodelu poz-



Sl.3.7. Izoplete za prosečni gradijent temperature vazduha u sloju od 2 do 170 m ($\overline{\Delta t}/\Delta z$ °C/100) za period 1964.-1969.

ivnih i negativnih gradijenta. Pozitivni gradijenti pokazuju inverziona stanja. Iz uporedjenja se može videti da se inverzije najčešće javljaju u toku noći i da su inverzije pred izlazak Sunca. Tada je maksimum stabilnosti atmosfere u prizemnom sloju. Najčešće je u kasnim jesenjim danima, od

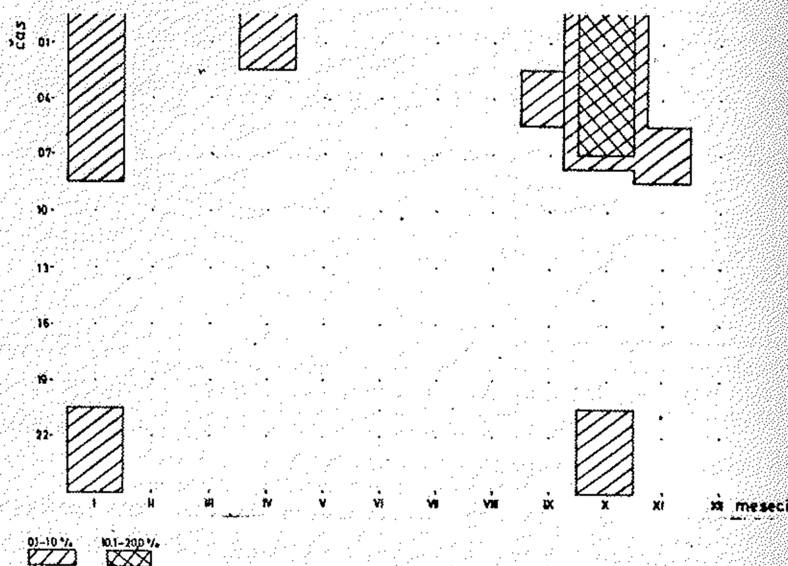
polovine oktobra do decembra i to od 23-24 časa, pa do 07 časova, posle koga preovladjuju sunčevo zračenje i konvekcija.

Maksimum nestabilnosti vazduha se javlja skoro u svim mesecima od 10 do 16 časova, a naročito je izražen u periodu od marta do polovine novembra. Tada su inverzije u prizemnom sloju vazduha u najvećem procentu slučajeva.

Na osnovu ovih ispitivanja, primećeno je da se dijapazon vertikalnog gradijenta temperature ($\Delta t/\Delta z$) menja u granicama od -1.2 do 1.4°C/100 m.

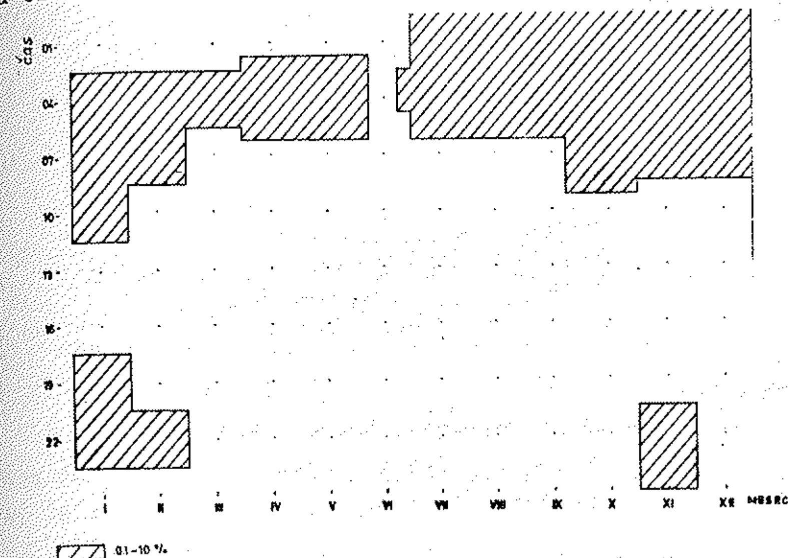
Da bi se odredile čestine različitih stanja atmosfere i njihovo trajanje, uvrsti se vertikalni gradijent u intervale date u tabl.3.1. Na ovaj način, podatke o gradijentu temperature iskazujemo izopletama koje omogućuju lako očitavanje vremenskog perioda u kome se očekuje verovatnoća javljanja odredjene stratifikacije atmosfere.

Za stabilno stanje atmosfere konstruisane su izoplete "Vremenske raspodele relativne čestine jake, umerene i slabe inverzije" posebno za svaku kategoriju. Uporedjujući slike 3.8,3.9 i 3.10. lako je izdvojiti trajanje inverzija. Jake in-



Sl.3.8. Stabilno stanje atmosfere. Jake inverzije, u Beogradu, za period 1964.-1969.godine

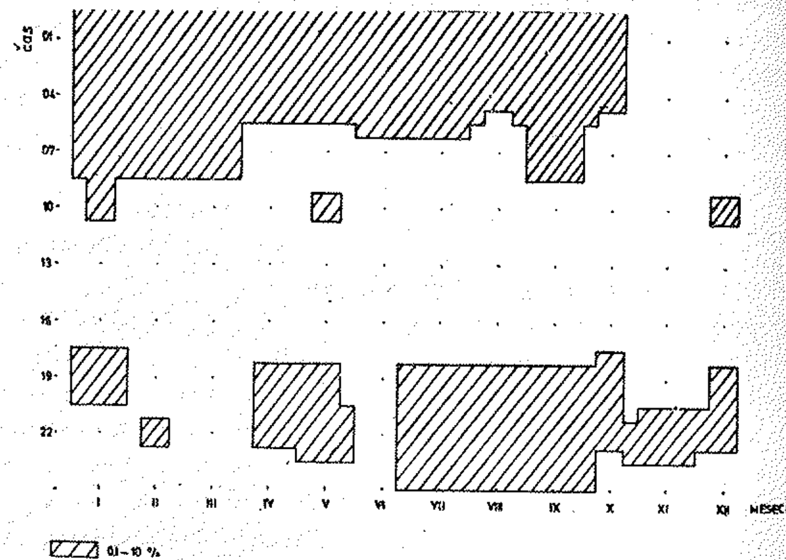
verzije javljaju se na području Beograda najčešće u toku noći, a naročito posle ponoći, izmedju 24 i 07 časova. Najveći procenat javljanja jakih inverzija je u ovim časovima u oktobru. Nešto manji je procenat javljanja ovih inverzija u januaru, nego u ostalim mesecima hladne polovine godine.



Sl.3.9. Stabilno stanje atmosfere. Umerene inverzije u Beogradu, za period 1964-1969.

Raspodela umerenih i slabih inverzija proširuje se na skoro sve mesece za časove od 01 do 07,odnosno 10 časova. Naime, umerene inverzije javljaju se u jutarnjim i večernjim časovima, u toku januara, februara i novembra, dok se u ostalim mesecima javljaju samo u noćnim i ranim jutarnjim časovima od 00 - 01 do 08 - 09 časova.

Nisu zabeležene pojave umerene inverzije u toku dana od 06 - 07 do 24 časa, od proleća do kasne jeseni. Sličnu raspodelu javljanja ima slaba inverzija: najčešće se javlja u skoro svim mesecima godine odmah posle zalaska Sunca, pa sve do izlaska. U toku leta slabe inverzije se javljaju dosta ranije nego imerene, tako da se pojavljuju već oko 19 časova.

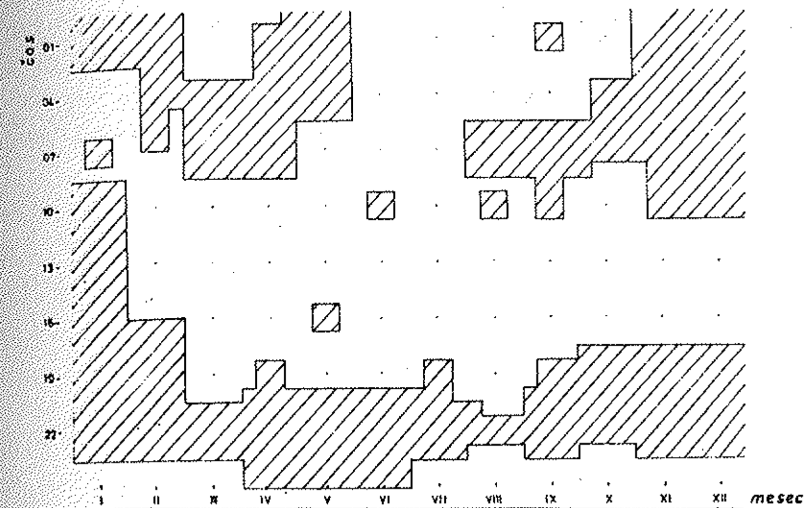


Sl.3.10. Stabilno stanje atmosfere. Slaba inverzija u Beogradu, period 1964–1969.

Slabo stabilno stanje atmosfere odredjuju izoplete "Vremenske raspodele relativne čestine pozitivne i negativne izotermije i normalnog gradijenta temperature", sl.3.11,3.12, i 3.13).

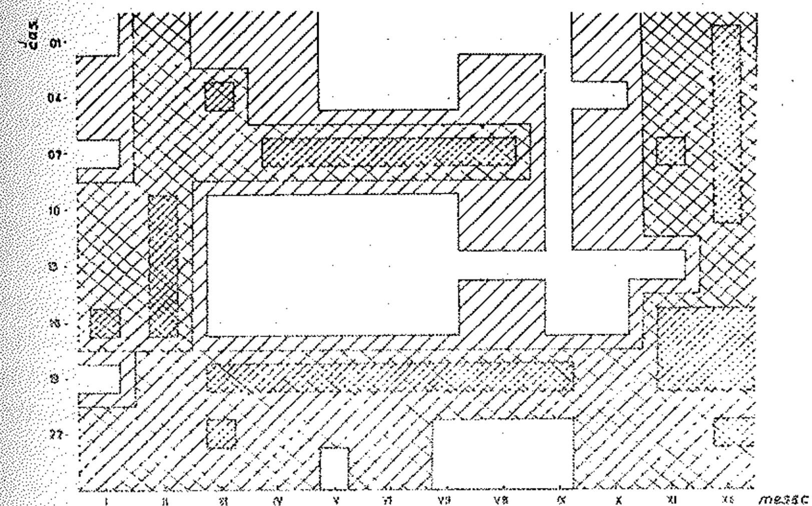
Vremenska raspodela relativne čestine pozitivne izotermije vrlo je različita u toku godine. Ipak, najveći procenat javljanja je u večernjim časovima; posle zalaska Sunca, javljaju se u svim mesecima, a u toku januara u svim časovima dana. Vremenska raspodela relativne čestine negativne izotermije izraženija je nego pozitivna, tako da je najčešće nalazimo izmedju 08 i 09 časova i 18 i 10 časova, u periodu od marta do septembra, a u ostalim mesecima, naročito u decembru u toku čitavog dana. Ovakva stratifikacija karakteristična je za prelazne uslove atmosfere pri indiferentnom stanju ka slaboj konvekciji.

Vremenska raspodela relativne čestine normalnog gradijenta temperature u sloju od 200 m izgleda ovako:



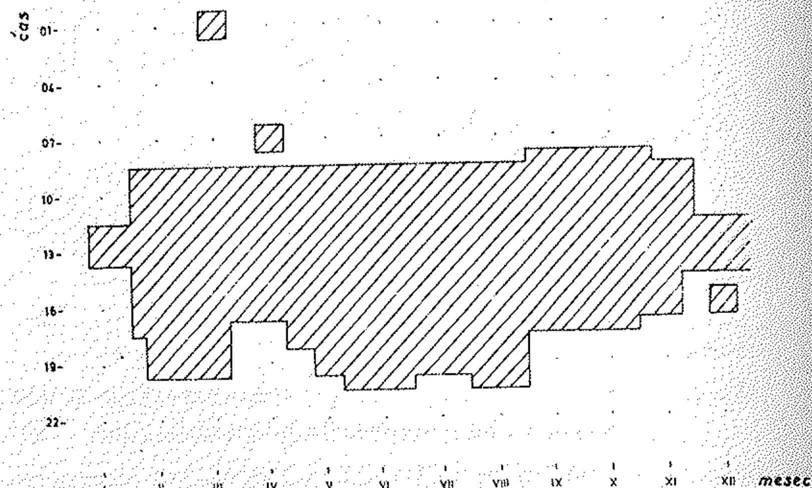
Sl.3.11. Slabo stabilno stanje atmosfere. Pozitivna izotermija u Beogradu, za period 1964–1969.

izmedju 08 i 20 časova često nailazimo na normalnu stratifikaciju. Od ukupnog broja slučajeva 90% je u ovom časovnom



Sl.3.12. Slabo stabilno stanje atmosfere. Negativna izotermija u Beogradu, za period 1964–1969

intervalu u svim mesecima osim u periodu od novembra do februara kada je časovni period smanjen na interval od 12 do 14 časova. Drugim rečima, može se iskazati kao prelazna stratifikacija od slabo stabilnog stanja atmosfere ka nestabilnom.

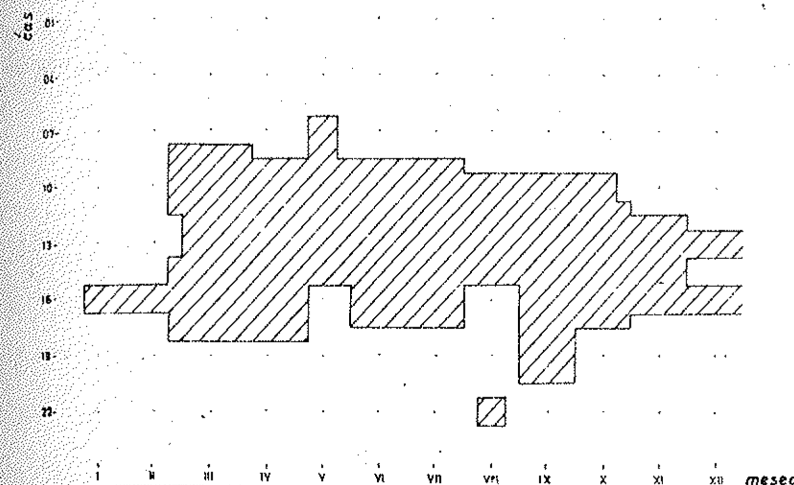


Sl.3.13. Slabo stabilno stanje atmosfere. Normalni gradijent u Beogradu, za period 1964-1969.

Maksimum nestabilnosti stanja atmosfere, kao što se može videti na slici 3.14. na kojoj su prikazane "Vremenske raspodele čestine nadadijabatskog gradijenta", javlja se u toploj polovini godine, kada je veće zagrevanje zemljine površine. Nestabilna stratifikacija je vrlo retka izmedju 22 i 07 -08 časova u toku cele godine.

Prema tome, u najvećem delu godine u ovom području najpovoljnije vreme za ispuštanje zagadjujućih materija je izmedju 14 i 16 časova, u toku ovih časova najbrže je razblaživanje štetnih materija. Tada je usled termičkog režima disperzija štetnih materija u atmosferi vrlo visoka.

Iznete kategorije vremenske raspodele relativnih čestina vertikalnih gradijenata pri kojima se javljaju inverzije koriste se za izračunavanje energije potrebne za probijanje inverzije, ali samo ukoliko se odredi i njihova prosečna visina. Vertikalni gradijenti temperature vazduha, dati na



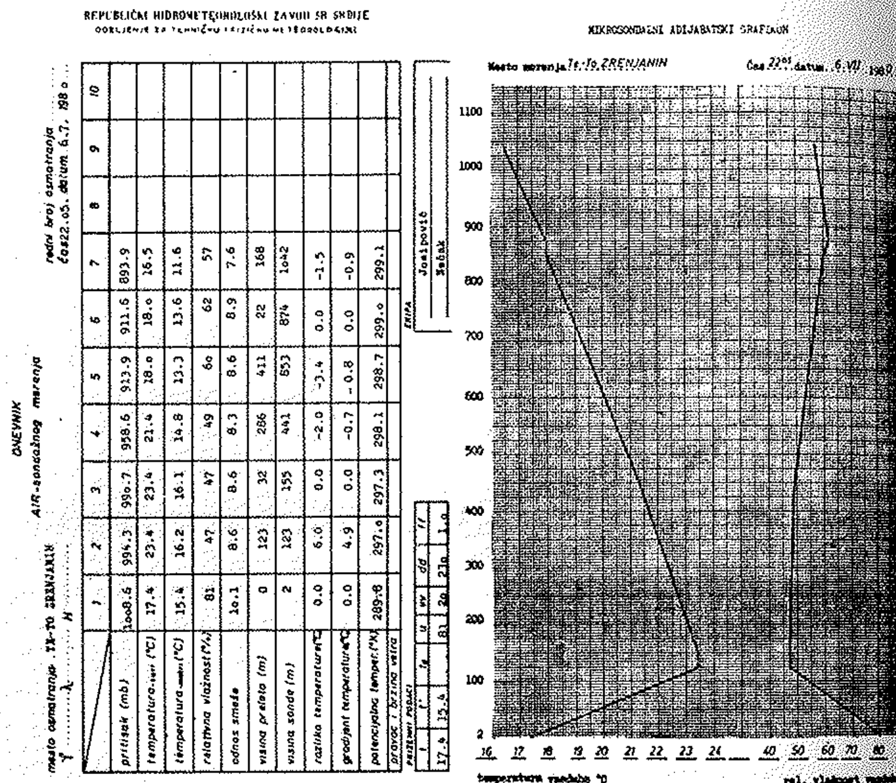
Sl.3.14. Nestabilno stanje atmosfere. Nadadijabatski gradijent u Beogradu za period 1964. -1969.

ovaj način, omogućuju da se sastavi katalog stanja atmosfere u lokalitetu budućeg objekta, pri kojima nastaje slabija ili jača disperzija štetnih materija. Ovakav katalog treba da sadrži i podatke radiosondažnih i prizemnih merenja.

3.1.3.1 Merenje u slobodnoj atmosferi i inverzije

Radiosondažna merenja viših slojeva atmosfere vrše se u Beogradu, na Aerološkoj opservatoriji, svakog dana u 01 i 13 čas. Podaci Aeroloških merenja pokazuju promene temperature vazduha sa visinom, od zemljine površine do visine oko 30 km. Medjutim, za ispitivanja karakterističnih vertikalnih gradijenata temperature u lokalitetima industrijskih objekata koriste se podaci mikrosondažnih merenja u prizemnom sloju atmosfere do visine tzv. graničnog sloja, koji je obično na visini 500 do 1000 metara. Mikrosondažna merenja vrše se pomoću minisondi. Ovakva merenja su sve više u upotrebi i u nas, posebno kada je potrebno proračunati visinu dimnjaka, zatim,za prostorno planiranje u industrijskim lokalitetima, gradovima

i uopšte, u područjima sa velikom zagadjenošću vazduha. Primeri dnevnika i grafikona mikrosondažnih merenja, koji su se koristili za potrebe projektovanja i gradnje termoelektrane-toplane Zrenjanin, ukazuju na njihov značaj (sl.3.15).



Sl.3.15. Primerak dnevnika (a) i grafikona (b) mikrosondažnih merenja

Pri ispitivanju vertikalne raspodele temperature vazduha posebna pažnja se posvećuje inverzijama. Ovde treba istaći da se pri razmatranju uslova rasprostiranja zagadjenosti vazduha moraju upoznati čestine javljanja i trajanja prizemnih i pridignutih inverzija. Izrazito stabilno stanje atmosfere u inverzionom sloju onemogućuje vertikalnu razmenu vazdušnih čestica usled turbulencije, dakle, sasvim su slaba vertikalna kretanja, pa se inverzije često nazivaju "zadržavajućim" ili

"blokirajućim" slojevima.

Tablica 3.4 sadrži podatke o čestini javljanja prizemnih inverzija u Beogradu za termine 01 i 13 časova (D.Vukmirović,1973.) a za period 1955-1970.

Tablica 3.4

Čestina javljanja prizemnih inverzija po mesecima, za period 1955.-1970.

01 čas

Mesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Br.sondaža	464	403	457	464	472	478	481	481	484	481	468	475
Inverzije %	57	58	51	56	57	67	65	70	73	69	61	56

13 čas

Mesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Br.sondaža	426	393	425	418	415	416	456	455	447	459	445	452
Inverzije %	27	10	3.5	.	02	02	06	0.2	0.4	1.5	11	25

Tablica 3.4 pokazuje da je čestina javljanja inverzija u 01 čas znatno veća, nego u 13 časova, što je uslovljeno dnevnim hodom temperature vazduha.

Srednja visina prizemnih inverzija u terminima osmatranja 01 i 13 časova data je u tablici 3.5, a za period 1955. do 1970. (D.Vukmirović,1973.).

Tablica 3.5

Srednja visina (u m) prizemnih inverzija u 01 i 13 časova, za period 1955.-1970.

Mesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
01 čas	439	425	419	393	339	396	395	4o2	411	4o8	418	476
13 čas	480	466	464	-	-	-	419	-	-	421	5o6	488

Srednja visina prizemne inverzije u 01 čas je najveća zimi, i opada prema proleću, tako da u aprilu ima najmanju srednju visinu 393 m. Leti su srednje visine približno jednake, oko 390 m; najveće visine su u decembru.

U 13 časova prizemne inverzije su znatno redje i javljaju se samo u hladnoj polovini godine, kada visine iznose preko 450 m.

Za proračunavanje difuzije zagadjujućih materija, pored srednje visine inverzije neophodno je poznavanje i čestine javljanja visine (debljine) prizemnih inverzija. U tablici 3.6 date su apsolutne čestine javljanja visine prizemnih inverzija u Beogradu.

Tablica 3.6

Čestine javljanja visina (debljina) inverzije

Mesec Int.visine	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
01 čas												
Manje od 200 m	2	3	1	.	.	1	.	.	1	.	.	.
201-300	45	42	43	48	43	42	46	52	61	66	46	31
301-400	96	86	88	108	117	139	138	144	132	135	105	92
401-500	24	22	23	21	26	31	27	23	39	28	28	42
13 čas.												
Manje od 200 m	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
201-300	13	1	.	.	.	.	.	1	1	1	4	11
301-400	31	11	2	.	.	.	1	1	1	2	13	35
401-500	34	14	1	.	.	.	2	.	1	2	16	26

Najčešće su inverzije sa intervalom visine 300-400 m, a zatim inverzije sa intervalom visine 400-500 m.

Treba primetiti, da se zadovoljavajući podaci o trajanju i čestinama javljanja inverzija ne mogu dobiti na osnovu samo dva radiosondažna osmatranja dnevno, od kojih je prvo u 01 čas, dakle u vreme polovine procesa razvoja prizemnih inverzija, i drugo u 13 čas, u doba kada se ovakve inverzije javljaju retko ili su drugog porekla, pa nisu od značaja za tok atmosferske difuzije.

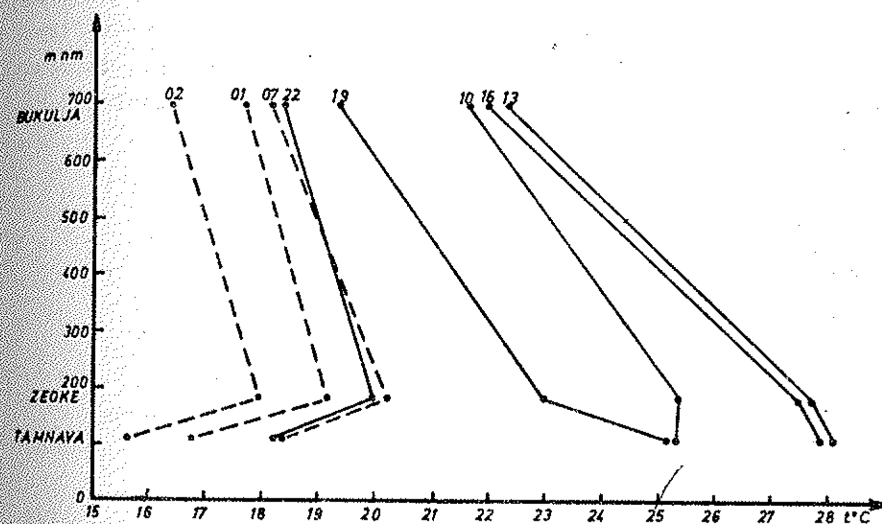
3.1.3.2 Tipovi atmosferske stratifikacije odredjene prema profilu temperaturne krive

Da bi se izdvojili karakteristični tipovi atmosferske stratifikacije, analiziraju se i tzv. "profili temperaturne krive" koji se dobijaju na osnovu podataka o temperaturi vazduha iz radiosondažnih podataka ili meteoroloških

stanica postavljenih na različitim nadmorskim visinama. Radi primera koristiće se podaci meteoroloških stanica postavljenih na različitim nadmorskim visinama. (sl.3.5). U praksi se najčešće uporedjuju podaci dobijeni duž padina planine sa mikrosondažnim merenjima, u karakterističnim vremenskim situacijama ili sa podacima najbliže radio-sondažne stanice.

Izabrani su dani sa karakterističnom sinoptičkom situacijom (avgust, septembar, oktobar 1974) kada se u lokalitetu industrijskog basena javljala inverzija: u letnjem periodu u toku noći i u jutarnjim časovima, a u jesenjem u večernjim časovima. Ovo su radijacione inverzije.

Na sl.3.16. lako je primetiti da se tipovi stratifikacije razlikuju za noćne i dnevne časove. U toku noći u čitavom sloju do 500 m postoji izrazit porast temperature sa visi-



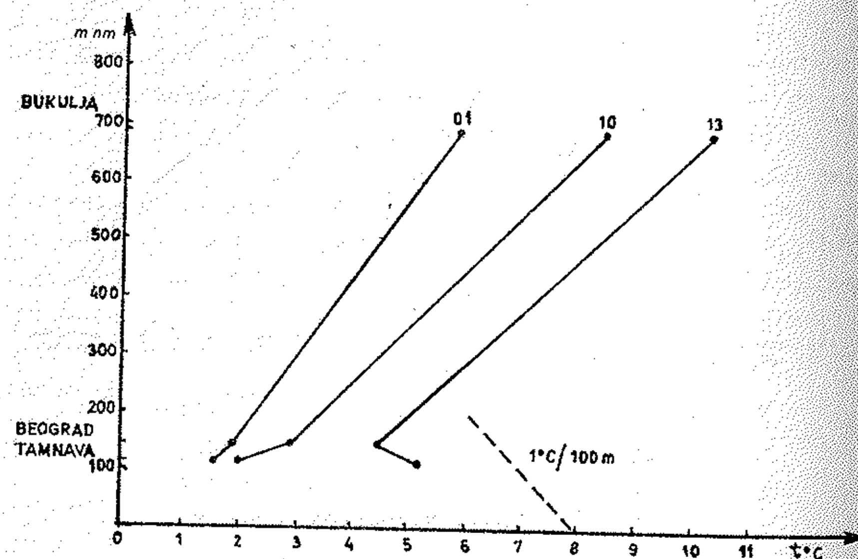
Sl.3.16. Profili temperature vazduha (krive stratifikacije) dobijeni na osnovu temperature vazduha izmerene na meteorološkim stanicama u širem području tamnavsko-kolubarskog basena za avgust 1974. godine

nom, a naročito do visine 100 m, iznad zemljine površine. Ovakav profil temperature mogao bi da predstavlja jedan tip stra-

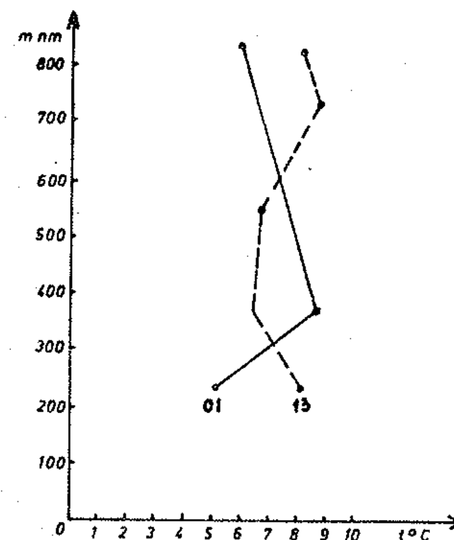
tifikacije koji se odlikuju stabilnošću, a integralna karakteristika stanja atmosfere ima pozitivnu energiju stabilnosti koja menja znak na visini iznad 500 m. Drugi tip stratifikacije objedinjuje profile temperature koji se odlikuju ograničenom stabilnošću. Ovaj se tip stratifikacije razlikuje od prvog tipa u tome što energija stabilnosti menja znak već na visini oko 100-200m, na sl.3.16. kriva stratifikacije za 10 časova.

Treći tip stratifikacije se odlikuje više-manje padom temperature u čitavom sloju vazduha, a energija stabilnosti je negativna. Na sl.3.16. prikazana je kriva stratifikacije za 13,16 i 19 časova. Ovaj se tip stratifikacije odlikuje velikom nestabilnošću u pitavom sloju.

Da bi se ispitali ostali tipovi stratifikacije analiziraju se karakteristične sinoptičke situacije, pri kojima se u industrijskom lokalitetu jave jake inverzije praćene intenzivnom maglom. Na sl.3.17. i 3.18 prikazane su krive stratifikacije dobijene istovremeno iz merenja na meteorološkim stanicama i na osnovu radiosondažnih podataka (u slobodnoj atmosferi),za septembar i oktobar 1974. godine.



Sl.3.17. Krive stratifikacije dobijene iz podataka temperature vazduha izmerene na meteorološkim stanicama u toku oktobra 1974.



Sl.3.18. Krive stratifikacije dobijene iz podataka radiosondažnih merenja na Aerološkoj opservatoriji, u 01 i 13 časova, za oktobar 1984.godine

3.1.4 Odnos izmedju brzine vetra i stabilnosti atmosfere

Štetne materije koje izlaze iz dimnjaka rasporedjuju se pod uticajem prosečnog puta koji vetar predje iznad dimnjaka u jedinici vremena, a pri nekoj od prikazanih stratifikacija atmosfere.

Podaci o brzini vetra, koji se koriste u jednačini difuzije, najčešće se mere na visini 10-15 m iznad zemljine površine.Kako se dimnjaci projektuju za veće visine:100,150,200m i više,mora se voditi računa i o promeni vetra sa visinom. Tek tada se može govoriti o prosečnoj brzini vetra na visini izvora. Ova brzina vetra može biti veća 2 ili 3 puta od brzine izmerene pri zemljinoj površini na visini 10-15 m.

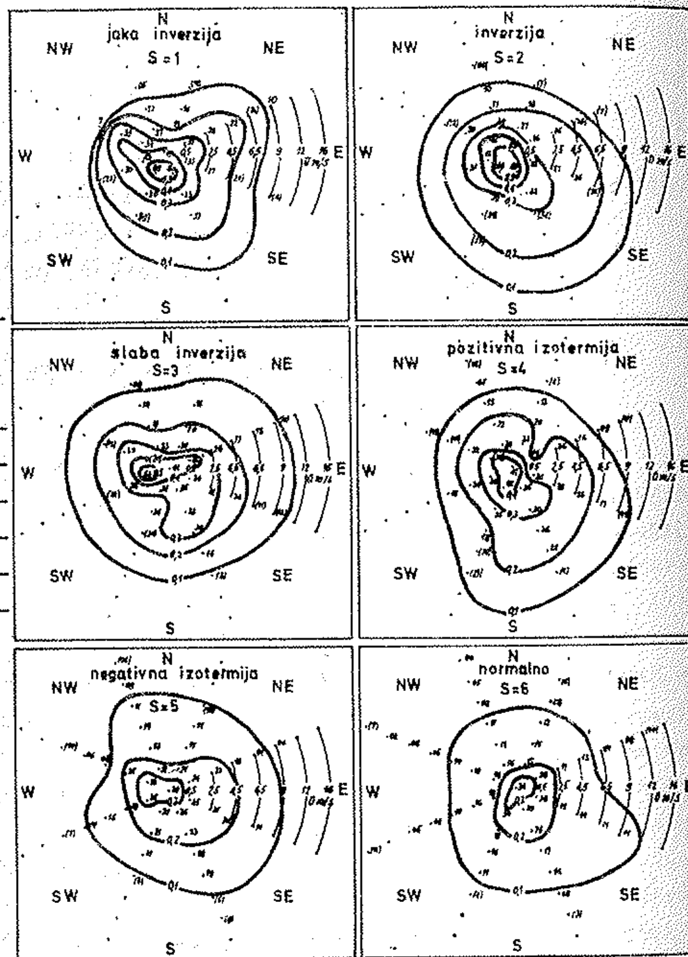
Nadvišivanje dima iznad otvora dimnjaka zavisi od brzine vetra. Ako je brzina vetra ispod kritične vrednosti, a to su za jake izvore najčešće brzine od 4-5 m/s, dim može nadvisiti otvor dimnjaka od 1-2 i više kilometara. Medjutim, ako brzina

vetra predje kritičnu vrednost središna linija dimne perjanice, posle malog nadvišivanja, ide skoro horizontalno.

Promenu brzine vetra sa visinom izračunavamo pomoću Satnove jednačine (Satton,1959):

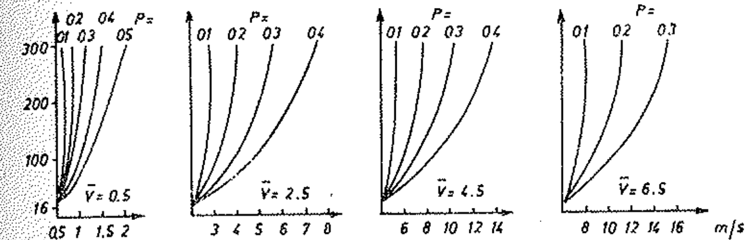
$$\bar{V}_h = \bar{V}_{ho}(h/h_o)^p \qquad (3.8)$$

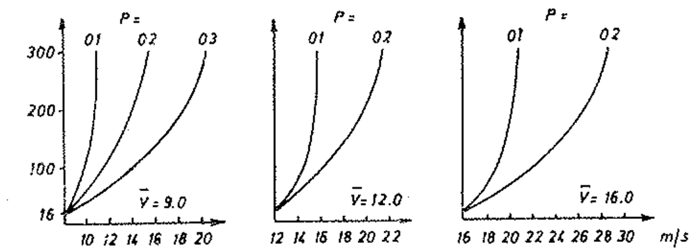
u kojoj su $\bar{V}_{ho}$-prosečna brzina vetra na visini anemografa (h_o), $\bar{V}_h$-prosečna brzina vetra na visini dimne perjanice (h), koja je uvek na znatno većoj visini iznad zemljine površine, p-je Satnov parametar, koji zavisi od više činilaca:konfiguracije zemljišta, pravca i brzine vetra i stabilnosti atmosfere (sl.3.19.)



Sl.3.19. Odnos eksponenta (p) i brzine i pravca vetra, pri različitim stratifikacijama atmosfere (Sepeši,1964)

Dobijene vrednosti za (p) razvrstavamo prema brzini i pravcu vetra i stabilnosti atmosfere. Za kategorizaciju stabilnosti atmosfere uzeto je 7 kategorija, a za vetar 16 glavnih pravaca i 8 intervala brzine. Tako, dobijene prosečne vrednosti eksponenta (p) Sepeši (1964) je prikazao u vidu izolinija, kao na sl.3.19. Na sl.3.20. prikazana je promena brzine vetra sa



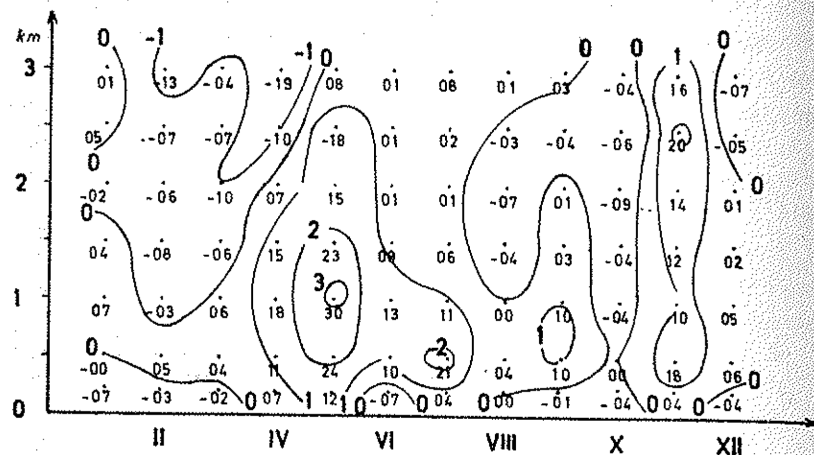


Sl.3.20. Promena brzine vetra sa visinom pri različitim srednjim brzinama ($\bar{V}$) i eksponentu (p)(Sepeši,D.1964.)

visinom pri različitim srednjim brzinama ($\bar{V}_h$) i eksponentu (p). Na osnovu detaljnijih ispitivanja Sepeši je našao da vrednost eksponenta (p) opada sa povećanjem brzine vetra. Pri stabilnoj stratifikaciji vrednosti eksponenta (p) znatno brže opadaju,nego pri labilnoj stratifikaciji, dostižući vrednosti 01 i manje.

Iz slike 3.19. može se primetiti da eksponent (p) u odnosu na pravac vetra pokazuje uvek povećanje u nekom od glavnih pravaca.

D.Vukmirović (1970.) je na osnovu radiosondažnih podataka prikazao raspodelu razlike u dnevnoj brzini vetra u toku godine do visine 3 km, a za područje Beograda za 1968. (sl. 3.21.).



Sl.3.21. Vremenska raspodela srednje medjudnevne brzine vetra sa visinom (Đ.Vukmirović,1970)

3.2 Jednovremena statistička analiza pravca i brzine vetra i stanja atmosfere

Na disperziju zagadjujućih materija jednovremeno utiču meteorološki parametri: pravac i brzina vetra i stabilnost atmosfere (Q,V,S).

Stabilnost atmosfere odredjujemo na osnovu podataka o vertikalnom gradijentu temperature vazduha, koji se dobija iz radiosondažnih merenja, više puta u toku dana, ili iz pseudogradijenata, koji se dobijaju merenjem temperature vazduha na meteorološkim stanicama na različitoj nadmorskoj visini.

Vrednosti gradijenata dobijenih radiosondažnim merenjem interpolišu se na dvočasovne vrednosti. Medjutim, pseudogradijente nije potrebno interpolisati, jer se prizemna osmatranja temperature vazduha vrše u svakom času. Ove se vrednosti prenose na kartice i magnetne diskove.

Pomoću elektronske obrade podataka nalazimo čestine javljanja pravca i brzine vetra i stanja atmosfere, a na sledeći način.

Brzinu vetra rasporedjujemo u osam kategorija, prema sledećim intervalima: 0.0-0.2; 0.3-1.5; 1.6-3.3; 3.4-5.4;5.5-7.9; 8.0-10.7; 10.8-13.8 i preko 13.9 m/s, a za 16 pravaca i 7 kategorija stabilnosti.

Da bi se dobila jasnija slika o odnosu vetra i stanja atmosfere, prvo se grupišu kategorije stanja atmosfere (stabilnosti), odredjene u prethodnom delu,a na sledeći način:

Stanje atmosfere	Kategorija
-jako stabilno....................	1, 2 i 3
-umereno stabilno................	4, 5 i 6
-labilno.........................	7.

U tablici 3.7. izložen je primer radnog obrasca za raspodelu godišnjih čestina pravca i brzine vetra i karakterističnih stanja atmosfere (stabilnosti).

Tablica 3.7

Godišnja raspodela čestina pravca i brzine vetra pri kategorijama stanja atmosfere

Pravac brzina	kateg. stabil.	NNE 1	NE 2	ENE 3	E 4	ESE 5	SE 6	SSE 7	S 8	SSW 9	SW 1o	WSW 11	W 12	WNW 13	NW 14	NNW 15	N 16
	1.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	2.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	. .
	3.	.	.	.	.	.	.	.									
0.1-0.2 (m/s)	4.	.	.	.	.	.											
	5.	.	.	.	.												
	6.	.	.	.	.												
	7.	.	.	.	.												
	1.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
0.3-1.5 (m/s)	2.	.	.	.	.	.	.	.	.								
	3.	.	.	.	.	. itd. sve do intervala brzine 13.9 m/s											

Intervali brzine vetra svrstani su u tri grupe i to:

-Slab vetar: 0.0-1.5 m/s

-Umeren vetar: 1.6-5.4 m/s

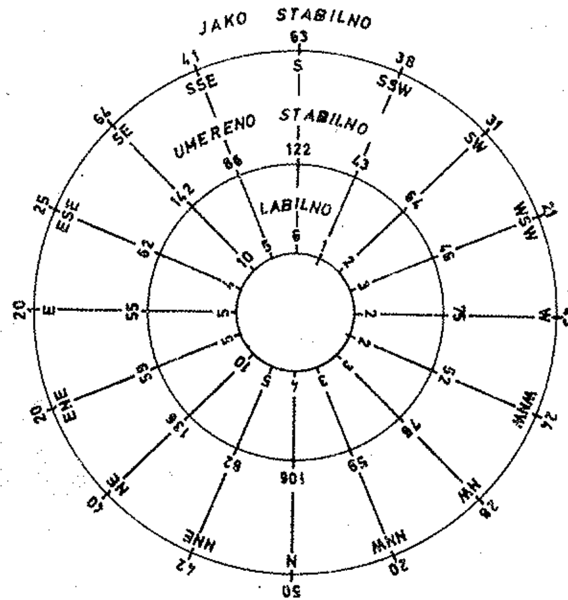
-Jak vetar: 5.5 i više.

Osim visine anemografa iznad zemljine površine potrebno je uzeti u obzir i uticaj okolne sredine.

Na osnovu predložene kategorizacije vetra prema brzinama traže se njihove čestine javljanja,a pri različitim st-

anjima atmosfere.

Da bi se odredio transport vazduha po pravcima, za praktične potrebe izradjuje se ruža vetra okrenuta za 180°, koja prikazuje godišnju apsolutnu čestinu pravaca i brzine vetra u časovima za pojedine kategorije stanja atmosfere. Na sl. 3.22. prikazan je primer ove raspodele.



Sl.3.22. Primer godišnje raspodele čestina javljanja brzine vetra (0.0–1.5 m/s) pri različitim stanjima atmosfere (D.Sepeši, 1964.)

Istovremena statistička analiza pravca i brzine vetra i stanja atmosfere za područje u kome se gradi objekat-zagadjivač, na osnovu višegodišnjih podataka, može se sprovesti samo korišćenjem računara. Složeni uticaji vetra i karakterističnih stanja atmosfere moraju se ispitati numerički za svaki pravac vetra, kako i zahteva turbulentno-difuziona jednačina.

3.3 <u>Primena turbulentno-difuzionog metoda</u>

3.3.1 <u>Praktična formula za odredjivanje prosečne koncentracije sumpor-dioksida u okolini industrijskog objekta</u>

3.3.1.1 Efektivna visina dimnjaka

Pod efektivnom visinom dimnjaka podrazumevamo onu visinu koju dim dostiže pod dejstvom sile koja je rezultanta fizičko-hemijskih i meteoroloških parametara, odnosno, stvarne visine i prečnika dimnjaka, brzine i temperature dima pri izlasku iz dimnjaka, pritiska i temperature vazduha i brzine vetra. Drugim rečima, efektivna visina dimnjaka je visina iznad zemljine površine na kojoj središna linija dimne perjanice postaje horizontalna, paralelna zemljinoj površini.

Vrlo složeni proračuni efektivne visine dimnjaka ustupili su mesto jednostavnijim empirijskim jednačinama. U praksi se koriste brojne empirijske jednačine. Većina se zasniva na teorijskim razmatranjima Pristlija i Holanda (Pristly i Holland, 1953).

U upotrebi su razne formule za odredjivanje efektivne visine dimnjaka (nadvišivanja dimnjaka).

Kod tzv. "hladnog izvora" čija je temperatura izlazećeg dima približna temperaturi okolne atmosfere, Bruks (1969) predlaže empirijsku jednačinu dobijenu na osnovu Rupovih rezultata (1948.):

$$\Delta H = 1.5(V_s/\bar{U}) = 1.5RD \qquad (3.9)$$

u kojoj su $R=V_s/\bar{U}$, V_s-brzina izlazećeg dima, $\bar{U}$-srednja brzina vetra, a D-prečnik dimnjaka. Brigs predlaže da se umesto Rupove konstante 1.5 uzima vrednost 3.0.

Smit (1968.) je predložio da se za ovakve izvore koristi sledeća formula za visinu nadvišavanja dimnjaka:

$$\Delta H = D(V_s/\bar{U})^{1.4} \qquad (3.10)$$

Perkins (1974.) prikazuje tablicu 3.8 u kojoj su uporedjene vrednosti dobijene prema Rupu, Brigsu i Smitu o visini dima, pri istim fizičko-hemijskim i meteorološkim parametrima.

Tablica 3.8

Visina dima prema jednačinama Rupa, Smita i Brigsa

$R=V_s/\bar{U}$	Rupova $\Delta H/D$	Smitova $\Delta H/D$	Brigsova $\Delta H/D$
1	1.5	1.0	3.0
2	3.0	2.8	6.0
3	4.5	4.6	9.0
4	6.0	7.0	1.2
5	7.5	9.5	15
10	15	25	30
20	30	66	60

Brigs je (1971.) predložio jednačinu za visinu dima u zavisnosti od položaja (X) sa privetrinske strane dima, a uzima se u formuli kao odnos izmedju rastojanja i prečnika dimnjaka $(X/D)^{1/3}$ tako da jednačina ima oblik:

$$\Delta H = 1.89\left(\frac{R}{1+3/R}\right)^{2/3}\left(\frac{X}{D}\right)^{1/3} \qquad (3.11)$$

Za tople dimove sila potiska je dominantan činilac pri nadvišavanju izvora. Zbog toga se, pri izračunavanju visine dima, kod ovih izvora, mora voditi računa o brzini vetra i stabilnosti atmosfere.

Visina nadvišivanja obrnuto je proporcionalna brzini vetra (U):

$$\Delta H \propto \left(\frac{1}{u}\right)^a$$

u kojoj je (a) stepen koji zavisi od stabilnosti atmosfere (S). Stabilnost atmosfere odredjuje se gradijentom temperature okolne atmosfere pomoću sledećeg izraza:

$$S = \frac{g}{T}\left(\frac{dT}{dz} + \gamma_a\right) \qquad (3.12)$$

g-sila gravitacije, T-temperatura okolnog vazduha u °K, $\frac{dT}{dz}$ izmereni gradijent temperature vazduha na 100 m, a γ_a -suvoadijabatski gradijent. Ako je u atmosferi promena temperature vazduha sa visinom jednaka adijabatskoj: $dT/dZ = \gamma_a$, tada je stabilnost S=0; kada je S < 0 atmosfera je nestabilna.

Pošto je ΔH funkcija $(1/u)^a$ imamo da je i stabilnost (S) na nekom (b) eksponentu $(S)^b$.

Posmatrajmo dim iznad izvora (sl.3.23). Sila potiska (F) deluje na svaku česticu dima, a izračunava se prema sledećoj jednačini:

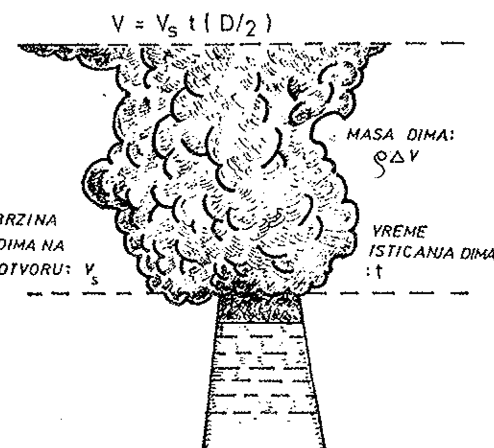
$$F = (m_v - m_d)g \qquad (3.13)$$

u kojoj su: m_v-masa vazduha potisnuta dimom, m_d-masa dima, g-sila gravitacije.

Masa dima se izračunava prema sledećoj jednačini:

$$m_d = \rho_s V = \rho_s V_s t\left(\frac{D}{2}\right)^2$$

u kojoj su: ρ_s gustina dima, V_s-brzina isticanja dima, a t-vreme isticanja, $(D/2)^2$-površina (baze) dima.



Sl.3.23. Parametri protoka dima

Odnos gustine dima i okolne atmosfere može se izraziti razlikom njihove temperature:

$$\frac{\rho_s - \rho}{\rho} = \frac{T_s - T}{T}$$

Prema ovome, sila potiska (F) u jedinici vremena i za jedinicu mase iznosi:

$$F \propto g\left(\frac{D}{2}\right)^2 V_s \left(\frac{T_s - T}{T}\right) \qquad (3.14)$$

Sila potiska može se izračunati i pomoću energije dima Q, u MW.

$$F = \frac{gQ}{\pi C_p \rho T} \qquad (3.15)$$

U ovoj jednačini Cp je specifična toplota okolnog vazduha; Q je količina "toplotne emisije", ρ je gustina i T temperatura okolnog vazduha. Ukoliko se prihvati da je Q energija predata okolini tada se energetska ravnoteža, izražena preko entalpije (h), daje u obliku:

$$Q = m_d \Delta h = \frac{\pi D^2}{4}(V_s \rho_s C_p)(T_s - T) \qquad (3.16)$$

Cp-specifična toplota efluenta. Ukoliko ovaj izraz uvedemo u jednačinu (3.15) dobijamo isti oblik za silu potiska kao u jednačini (3.14).

Uzimajući u obzir promenljive parametre o vetru, stabilnosti i sili potiska, visinu dima izračunavamo na sledeći način:

$$\Delta H \propto \left[\left(\frac{1}{u}\right)^a (S)^b (F)^c \right] \qquad (3.17)$$

H ima dimenzije dužine; analitička analiza ovih dimenzija daje veličine konstante a=1/3; b= -1/3 i c=1/3. tako da imamo sledeće odnose:

$$\Delta H \propto \left(\frac{F}{uS}\right)^{1/3} \quad ili \quad \Delta H = C\left(\frac{F}{uS}\right)^{1/3} \qquad (3.18)$$

C-je eksperimentalno odredjena konstanta; F-sila potiska, u-srednja brzina vetra; a S parametar stabilnosti.

Za konstantu (C) Smit predlaže vrednost 2.0; Fej-2.27, a Brigs 2.9 i 2.6. Medjutim, u praksi nisu dobijeni zadovoljavajući rezultati sa ovim vrednostima, pa se za C najčešće uzima vrednost 2.3. Za izračunavanje visine dima uzima se sledeći oblike jednačine:

$$\Delta H = 2.3 \left[\frac{g V_s D^2 (T_s - T)}{4uST} \right]^{1/3} \qquad (3.19)$$

Ova se jednačina koristi za izračunavanje visine dima u stabilnoj atmosferi, pri inverziji i blisko-normalnom gradijentu, ali ne i normalnom, jer za S=0, $\Delta H \to \infty$.

Za nestabilno stanje atmosfere i normalni gradijent temperature Smit preporučuje formulu:

$$\Delta H = 150 \frac{F}{u^3} \qquad (3.20)$$

Umesto konstante 150 Brigs predlaže 400.

Za proračunavanje visine dima u funkciji rastojanja (x) predlažu se sledeće jednačine:

-<u>za stabilno stanje atmosfere</u>: (3.21)

$$\Delta H = 1.6 \frac{F^{2/3} X^{2/3}}{u}$$

Sa primenom različitih vrednosti konstanti; Fej predlaže umesto 1.6 konstantu 1.32.

-<u>za nestabilno stanje atmosfere:</u> (3.22)

$$\Delta H = \frac{F^{1/3} X^{2/3}}{u}$$

u kojoj je X=10·Hs; Hs - visina dimnjaka.

Posebno se posmatra stabilno stanje atmosfere, bez vetra, pri tišinama. Brigs preporučuje korišćenje odnosa koji su razmatrali Morfon, Tejlor i Tarner (1956), a koji izgleda:

$$\Delta H = \frac{5.0\, F^{1/4}}{S^{3/8}} \qquad (3.23)$$

B.Paradiš (1971.) je izdvojio sledeće formule i prema njima izračunao nadvišivanje dima pri različitim brzinama i izlaznoj struji dima:

1. Hollandova: (Holland) $\Delta H = \frac{1}{u}(1.5\, V_s d + 0.41 \cdot 10^{-4} Q_h)$
2. Štimkeova I: (Štümke) $\Delta H = \frac{2.92}{u}(1.5\, V_s d + 0.41 \cdot 10^{-4} Q_h)$
3. Štimkeova II (Štümke) $\Delta H = \frac{1}{u}\left[1.5\, V_s d + 65\, d^{3/2} \left(\frac{\Delta T}{T}\right)^{1/4}\right]$
4. Rauhova: (Rauch) $\Delta H = \frac{Q_h B}{u}$
5. Konkejeva: (Concawe) $\Delta H = A \frac{Q_h B}{u}$
6. Bosankitova: (Bosanqet) $\Delta H = 0.75(h_{vmax} + h_{tmax})$
7. Bringfeltova I: (Bringfelt) $\Delta H = \frac{1}{u}(1.5\, V_s d + 2.31 Q_h^{0.29})$
8. Bringfeltova II: (Bringfelt) $\Delta H = \frac{1}{u}\, 224\, Q^{0.34}$

Oznake u ovim jednačinama: u-brzina vetra na visini otvora dimnjaka, u m/s; Vs-izlazna brzina dima, u m/s; Qh-toplotni tok dima, u 4.187 J/s.

Kod Bringfeltove jednačine Q je u MW, T_2-okolna temperatura, u °K, T-temperatura dimnih gasova, u °K, D-prečnik dimnjaka, u m, H_{vmax}-visina dima pri maksimalnoj brzini dimnih gasova, ΔH-visina nadvišavanja dimnjaka, A,B i C različite konstante koje zavise od stanja atmosfere. Posebno će se razmotriti Holandova formula o nadvišivanju dima, koja ulazi u jednačinu za proračun koncentracije:

$$\Delta H = \frac{V_s d}{\bar{V} h} \left(1.5 + 2.68 \cdot 10^{-3} p \frac{\Delta T d}{T_s}\right) K \qquad (3.24)$$

h-visina dimnjaka, u m; ΔH-visina dima iznad dimnjaka, u m; Vs-brzina izlazećeg dima, u m/s; P-vazdušni pritisak na vrhu dimnjaka u mbarima, d-prečnik otvora dimnjaka, u m; Ts-temperatura dima, u °K; ΔT-razlika temperature dima i okolnog vazduha, u °K; $2.68 \cdot 10^{-3}$ u m^{-1}; K-koeficijent redukcije.

Pošto ova jednačina važi za neutralna stanja atmosfere i bliska ovome, za korišćenje jednačine u drugim uslovima mora se uzeti korekcioni faktor (K).

Ako se jednačina (3.7) o promeni vetra sa visinom i (3.24) o efektivnoj visini dimnjaka stave u jednačinu (3.4) o uprošćenoj primeni difuzije, dobija se sledeći izraz za izračunavanje koncentracija ($\mathcal{H}_{\tau}$) na zemljinoj površini:

$$\mathcal{H}_{\tau} = \frac{Q}{\pi \sigma_y \sigma_z \bar{V}_h (\frac{h}{h_o})^p} \exp - \qquad (3.25)$$

$$- \frac{1}{2\sigma_z} \left[h + \frac{V_s d}{V_{h_o} (\frac{h}{h_o})^p} (1.5 + 2.68 \cdot 10^{-3} p \frac{\Delta T d}{T_s}) K \right] \exp - \frac{y^2}{2\sigma_z^2}$$

Poslednji činilac $\exp - \frac{y^2}{2\sigma_y^2}$ izražava vertikalnu raspodelu koncentracije.

Da bi odredili prosečnu koncentraciju uvodimo pojam najverovatnije koncentracije ($\bar{\mathcal{H}}_{\tau}$), koji je opravdan s obzirom da maksimalna koncentracija nastaje oko preovladjujućeg pravca unutar intervala ± 11.25. Dakle, u vrlo uzanom intervalu, u kome je svaka tačka u intervalu, prema Gausu, podjedanko izložena manjim i većim koncentracijama; pa verovatna koncentracija iznosi:

$$\bar{\mathcal{H}}_{\tau} = \frac{1}{2y_o} \int_{-\infty}^{+\infty} \mathcal{H}_{cent} \exp \left[- \frac{y^2}{2\sigma_y^2} dy \right] = \frac{\mathcal{H}_{cent} \sqrt{2\pi\sigma}}{2y} \qquad (3.26)$$

u kojoj su: 2 y_o-dužina luka (± 11.25°) na udaljenosti x od izvora; $\mathcal{H}$cent-maksimalna vrednost koncentracije pored dimne perjanice, a σ_y-rasipanje koncentracije normalno na pravac x u pravcu y.

Kako je: $2y_o = \frac{2\pi x}{16}$

tada imamo: $\bar{\mathcal{H}}_{\tau} = \frac{\mathcal{H}_{cent} (2\pi)^{1/2} \sigma_y}{\frac{2\pi x}{16}} = \frac{\mathcal{H}_{cent}\, \sigma_y \cdot 16}{\sqrt{2\pi} x}$

Ako ovu jednačinu unesemo u jednačinu (3.24) dobijamo za najverovatniju koncentraciju sledeći izraz:

$$\mathcal{H}_{\sigma} = \frac{16\,Q}{\pi^{1/2} 2^{0.5} \sigma_z \bar{V} (\frac{h}{h_o})^p x} \exp - \qquad (3.27)$$

$$- \frac{1}{2\sigma_z^2} \left[h + \frac{V_s d}{\bar{V}_{ho} (\frac{h}{h_o})^p} (1.5 + 2.68 \cdot 10^{-3} p \frac{\Delta T}{T_s} d) K \right]^2$$

Jednačina se može neposredno upotrebiti za nalaženje najverovatnije koncentracije u okolini stalnog izvora zagadjenosti vazduha (dimnjaci energetskih objekata) u funkciji brzine i pravca vetra, stanja atmosfere, udaljenosti od izvora i industrijskih činilaca (temperature i brzine izlazećeg dima i izdašnosti izvora).

U nedostatku sopstvenih merenja σ_z(vertikalno odstupanje) pri različitim kategorijama stanja atmosfere mogu se koristiti vrednosti sa sl.3.3 i 3.4.

3.3.2 Primena formule za utvrdjivanje godišnje koncentracije SO_2 u blizini elektroenergetskog objekta

Ako jednačinu 3.27. integralimo po vremenu dobijamo godišnju koncentraciju:

$$D = \int_{\tau}^{god} \mathcal{H}_{\tau}\, d\tau = 3600 \sum_{V_z = 01}^{16} \sum_{S=7}^{1} N(Q, V_r, S)\, \mathcal{H}_{\tau}(\theta, X, V_r, S) \qquad (3.28)$$

Ovde je 3600 broj sekundi u času; N (θ,Vr,S)-prosečan broj časova za godinu dana za koje vreme nastaju vrednosti koncentracije $\mathcal{H}_{\tau}$ (θ,Vr,X,S), a pripadaju istim kombinacijama (θ,Vr,S) u pravcu θ od dimnajka i na udaljenosti X. Medjutim, ako postoji fonska koncentracija mora se dodati dopunski član (D) koji predstavlja godišnju dozu fonske koncentracije.

Metod odredjivanja srednje godišnje koncentracije zagadjenog vazduha iz jakog izvora treba koristiti za objekte koji se nalaze u ravničarskim krajevima.

Na sl.3.24. prikazan je primer prostorne raspodele koncentracije sumpordioksida kod klasične buduće termoelektrane.

Za razliku od metodologija koje preporučuju Kramer, Paskvil, Tarner i dr. a koje se zasnivaju na kvantitativnom, subjektivnom odnosu oblačnosti i vetra u toku dnevnih časova, Sepeši preporučuje metodologiju koja se zasniva na kvalitativnom, objektivnijem odnosu turbulentne disperzije, rastojanja i

profila vetra.

(a) (b)

Sl.3.24. Prostorna raspodela koncentracije SO_2 u okolini buduće termoelektrane pri S=6, H=200 m, $\bar{V}$=5,0 m/s (sl. a) i pri S= 4, H=200 m i $\bar{V}$=5.0 m/s (sl.b)

3.3.2.1 Proračun koncentracije za posebne slučajeve inverzionih stanja

U prethodnom delu prikazane su formule za proračun koncentracije pri karakterističnim stanjima atmosfere i profilu vetra. Tako smo imali jednačinu za difuziju dima upravno na pravac vetra:

$$\mathcal{H}(X,Y,0,H) = \frac{Q}{\pi \sigma_y \sigma_z V} \exp\left[-\left(\frac{y^2}{2\sigma_y^2} + \frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right)\right]$$

ili jednačinu za koncentraciju koja se rasporedjuje duž centralne ose dimne perjanice (kada je Y=0):

$$\mathcal{H}(X,0,0,H) = \frac{Q}{\pi \sigma_y \sigma_z V} \exp\left[-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right]$$

U ovim jednačinama promena vetra sa visinom iznosi:

$$V = V_1 \left(\frac{H}{h}\right)^P$$

V-brzina vetra na efektivnoj visini dima (H), a V_1-brzina vetra na visini anemografa (h), P-je Satnoj parametar. Medjutim, Smit (1968) preporučuje da se za (P) koriste sledeće vrednosti:

-za nestabilno stanje atmosfere: 0.25,

-za stabilno stanje atmosfere: 0.50.

Ukoliko se izvor zagadjenja nalazi na zemljinoj površini tada je efektivna visina H=0, a izraz za koncentraciju ima oblik:

$$\mathcal{H}(X,0,0,0) = \frac{Q}{\pi \sigma_y \sigma_z V}$$

kao što je već izneto u prethodnom delu, difuzioni koeficijenti (σ_y i σ_z)mogu se predstaviti kao devijacije u pravcu vetra izražene pomoću uglova elevacije i azimuta. Medjutim, detaljnija razmatranja nalazimo kod Slejda (1968) koji grafički prikazuje njihove odnose. Mnogi autori ispitivali su složene odnose difuzionih koeficijenata i stanja atmosfere. Tarner (1970) je dao brojne rezultate ovakvih ispitivanja i izradio nomograme za njihovo korišćenje (sl.3.3. i 3.4). Pri korišćenju ovih rezultata moraju se prihvatiti sledeći kriterijumi:

a) vreme uzimanja uzorka je oko 10 minuta,

b) vrednosti koeficijenta se odnose samo za sloj atmosfere visine do nekoliko stotina metara,

c) vrednosti koeficijenta se primenjuju za otvoren, ravan teren.

Tarner (1968. i 1970.) posvećuje posebnu pažnju proračunu koncentracije za posebne slučajeve inverzionih stanja, kada je difuzija ograničena zemljinom površinom i bazom inverzije. Osnova postavke metodologije je nalaženje koncentracije zagadjenog vazduha koja je rasporedjena uniformno, duž sloja koji se nalazi na visini baze inverzije (Hi). U ovakvim slučajevima koristi se formula za proračun koncentracije:

$$\mathcal{H} = \frac{Q}{(2\pi)^{1/2} V H_i \sigma_y} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \quad (3.29)$$

Pomoću ove jednačine izračunava se koncentracija samo u onom slučaju kada dimna perjanica dostigne visinu baze inverzije (Hi),koja se procenjuje na osnovu:

$$2.15\,\sigma_z = H_i - H$$

H-je efektivna visina dimnjaka.

Tarner preporučuje korišćenje gornje jednačine samo za rastojanja (x) koja su veća od 2 x_i, odnosno dva puta veća od rastojanja na kome dimna perjanica dostigne inverziju. Za rastojanje od izvora do x_i treba primeniti normalnu difuziju, a za rastojanje koje se nalazi izmedju x_i i 2 x_i treba inte -

rpolisati vrednosti u x_i i 2 x_i.

Izloženu jednačinu možemo primeniti i za procenu raspodele koncentracije kod stanja fumigacije. Kod fumigacije H_i je visina do koje će stići nestabilni vazduh. Zbog toga u ovom sloju nema inverzije, pa je potrebno količinu dima (Q) korigovati. Korekcija se vrši sve do one tačke rastojanja u kojoj dim dopire do zemljine površine.

Ako je (Q) ukupna količina dima u nestabilnom sloju, tada je H_i=H+2σ_i .Za fumigaciju se uzimaju Tarnerovi disperzioni koeficijenti (σ_y i σ_z) koji se koriste za stabilno stanje atmosfere (sl.3.3 i 3.4). Medjutim, za deo fumigacije u kome dimna perjanica dodiruje zemljinu površinu Tarner (1976) uvodi korekciju za izračunavanje disperzije dima u pravcu y ose:

$$\sigma_{yfum} = \sigma_{ystab} + \frac{H}{8}$$

σ_{yfum} -standardna disperzija pri fumigaciji, σ_{ystab} -standardna disperzija pri stabilnom stanju atmosfere, a H-visina baze inverzije ili efektivna visina dimnjaka.

3.4 Pravno regulisanje zaštite vazduha od zagadjenosti

Donošenjem osnovnog Zakona o zaštiti vazduha od zagadjenja (Sl.list SFRJ br. 30/65) prvi put se u našoj zemlji pristupilo rešavanju problema u vezi sa zaštitom atmosfere od zagadjenosti; tada je u nas, prvi put, stvoren pravni osnov za intervenciju nadzornih organa u svrhu zaštite vazduha od zagadjivanja. Medjutim, ovaj zakon nije mogao obuhvatiti i sve mere za zaštitu atmosfere, već samo najnužnije. U njemu nisu doneti ni savezni propratni propisi, radi odredjivanja bližih uslova i načina sprovodjenja pojedinih mera i obaveza o zaštiti vazduha od zagadjivanja. Ovaj zakon prestao je da važi krajem 1971. a prema čl. 16. Ustavnog zakona za sprovodjenje ustavnih amandmana. Na taj način, pravno regulisanje materije iz ove oblasti potpuno je prešlo u nadležnost Republika i Porajina.

Republičkim zakonom o zaštiti vazduha od zagadjenja na teritoriji SR Srbije"Sl.Glasnik SRS" br.8/73, kao i izmenama

i dopunama ovog zakona "Sl.Glasnik SRS",br. 31/77, izvori zagadjenja vazduha se stavljaju pod nadzor, a mere zaštite atmosfere od zagadjivanja koje se propisuju znatno su proširenije, nego što su bile u osnovnom zakonu. U Republičkom zakonu su predvidjene preventivne mere, kao i odredbe o uslovima za izgradnju i rekonstrukciju objekata koji svojim radom mogu zagaditi vazduha. Uporedno sa republičkim zakonom, doneti su pravilnici:" O projektovanju objekata, postrojenja i uredjaja koji mogu zagaditi vazduha iznad dozvoljene granice", "o načinu i rokovima za dostavljanje izveštaja o izvršenim merenjima čistoće vazduha" i "o rokovima i načinu vršenja merenja ispuštanja štetnih materija u vazduh" (Sl.Glasnik SRS br.27/73 i 50/70).Takodje su doneta i sledeća Rešenja " o odredjivanju ustanova za vršenje merenja čistoće vazduha i merenja ispuštanja štetnih materija u vazduh" i "o odredjivanju stručnih radnih organizacija koje mogu vršiti ispitivanja efektivnosti uredjaja za hvatanje i prečišćavanje štetnih materija koje zagadjuju vazduh". ("Sl.Glasnik SRS" br. 27/73, 14/74, 47/74). U 1973. izašla je Preporuka za sprovodjenje Zakona o zaštiti od zagadjivanja vazduha ("Sl.Glasnik SRS" br. 29/73).

Potrebno je istaći da je Jugoslavija prva zemlja u svetu koja je ovako značajnu problematiku o zaštiti životne sredine, a time i zaštitu vazduha od zagadjivanja, unela u Ustav. Na taj način, ova se problematika u saveznom, republičkim i pokrajinskim ustavima tretira kao sastavni deo društvenog sistema. Prema tome, u republičkim i pokrajinskim zakonima o zaštiti životne sredine odredjene su osnovne dužnosti društveno-političkih zajednica i njihovih organa, radnih i drugih organizacija, u okviru kojih je najjače izražena uloga opština,koje su neposredno zainteresovane i odgovorne za zaštitu zdravlja gradjana i za zaštitu materijalnih dobara.

Za sprovodjenje postojećeg republičkog zakona postoje, osim pomenutih, stručno-tehnički propisi,normativi i odredbe, na osnovu kojih se procenjuju stepen i posledice zagadjenog vazduha i preduzimaju odgovarajuće mere za zaštitu vazduha od zagadjivanja. Ovo se naročito odnosi na odredbe "o maksimalno dopuštenim količinama štetnih materija koje se mogu ispuštati u vazduha i odredbe republičkog zakona o lokaciji i

drugim uslovima za izgradnju objekata i postrojenja koji zagadjuju vazduh. Tako imamo, "da industrijski i drugi objekti ne smeju ispuštati u vazduh štetne materija u količinama koje će koncentraciju ovih materija dovesti iznad maksimalno dozvoljenih granica u vazduhu okoline. Za sumporidoksid ova iznosi: za srednju dnevnu koncentraciju 0.15 mg/m³, i za pojedinačnu koncentraciju 0.50 mg/m³".

Odredbe ovog Zakona, takodje, obuhvataju "da se izgradnji i rekonstrukicji objekata, kao što su termoelektrane, toplane i dr. koji mogu zagaditi vazduha iznad maksimalno dozvoljenih granica, može pristupiti samo ako tehnička dokumentacija prema usvojenom investicionom programu za izgradnju odnosno rekonstrukciju obezbedjuje uslove potrebne za zaštitu od zagadjenja vazduha".

Izgradnja objekata, kod kojih se tehničkim ili drugim merama ne može sprečiti zagadjivanje vazduha iznad dozvoljenih granica može se vršiti samo na mestima koja po svojim fizičko-geografskim i meteorološko-klimatološkim uslovima, i drugim karakteristikama obezbedjuje zaštita vazduha od zagadjivanja. Pojedine odredbe ovog zakona se odnose i na već izgradjene i rekonstruisane objekte: "ovi se ne mogu upotrebljavati dok se ne utvrdi da njihov rad neće prouzrokovati zagadjenje vazduha iznad utvrdjene granice".

Naselja se odvajaju od industrijskih i dr. objekata koji zagadjuju vazduh zonama sanitarne zaštite, koju obrazuju opštine na osnovu podataka o proizvodnji, vrsti i količini utrošaka goriva, zatim. o lokalnim meteoroloških i dr. uslovima.

Osim nadzora nad sprovodjenjem ovog Zakona, predvidjene su i kaznene odredbe za prekšraj koji čini radna organizacija ili drugo pravno lice, ako izgradi ili upotrebi objekat, postrojenje ili uredjaj koji zagadjuje vazduh iznad dozvoljene granice.

Na kraju treba reći, da sprovodjenje zaštite atmosfere od zagadjenja nailazi na mnoge teškoše ekonomske i tehničke prirode. Uglavnom, osnovne ekonomske teškoće nastaju zbog nedovoljnih materijalnih sredstava koja su nužna za saniranje postojećeg stanja u pravcu zaštite atmosfere od zagadjivanja. Radne organizacije moraju izdvojiti vrlo velika sredstava za

sprovodjenje preventivnih mera, u prvom redu, za meteorološka istraživanja o prostornoj raspodeli i transportu vazduha, a isto tako, i za istraživanja uticaja štetnih materija na okolinu. U neposrednoj vezi sa materijalnim sredstvima su i nedovoljna opremljenost potrebnim instrumentima i opremom stručnih i tehničkih službi koje prate stanje zagadjenosti i vrše zaštitu atmosfere od zagadjenosti.

S druge strane, velika sredstva su potrebna za organizovano praćenje i kontrolu koncentracija štetnih materija u makrorazmerama, a takodje i za praćenje transgraničnog prenosa zagadjenog vazduha.

ZAKLJUČAK

Zbog sve veće potražnje za izvorima energije teritorija SR Srbije, bogata ugljem, postaje gradilište brojnih klasičnih termoelektrana. Poslednjih godina u područjima Kolubare, Tamnave, Posavine, Kostolca, u SAP Kosovu i mnogim drugim, projektuju se ili već izgradjuju klasične termoelektrane.

Aktuelnost i značaj zaštite životne sredine u SR Srbiji zahtevaju da se kod projektovanja ovakvih objekata,koji predstavljaju velike i opasne izvore zagadjenosti vazduha,traže najpovoljniji načini izbacivanja štetnih primesa iz dimnjaka u okolnu atmosferu, ali tako, da njihove koncentracije na zemljinoj površine ne predju maksimalno dovzoljene vrednosti u odredjenom periodu vremena.

U ovakvim slučajevima kada se traže najpovoljnija rešavanja izbacivanja štetnih materija iz dimnjaka ispituju se raspodele koncentracija u lokalitetu pri različitim visinama dimnjaka ili se posebno pripremaju ložišta, ili pak primenjuju neki drugi fizičko-tehnološki procesi zaštite atmosfere od zagadjivanja.

Sa meteorološke tačke gledišta zaštita životne sredine,a u prvom redu zaštita atmosfere od zagadjenosti u lokalitetu klasičnih termoelektrana, sastoji se u utvrdjivanju pojave, čestine javljanja, trajanja i intenziteta meteoroloških procesa koji utiču na diufziju štetnih materija koji izlaze iz dimnjaka. Svakako, da se najpotpunija rešenja dobijaju, ako se kompleksno istražuju meteorološki parametri u zavisnosti od

fizičko-geografskih uslova lokaliteta, i fizičko-tehnoloških parametara izvora.

Izloženi metodi proračuna zagadjenosti vazduha proizašli su iz modifikovane jednačine o trubulentnoj difuziji date prema Satnu, a modifikovane od strane brojnih autora.

Izvesni nedostaci u metodologiji proračuna javljaju se i pri odredjivanju vrednosti vertikalnog i horizontalnog rasipanja, koji se dobijaju na osnovu subjektivnih kategorija stabilnosti, a prema vertikalnom gradijentu temperature vazduha ili prizemnim meteorološkim osmatranjima oblačnosti, vetra i sunčevog zračenja. Zbog toga su vrednosti koncentracije, koje se računaju metodom turbulentne difuzije, približne.

Kod dugotrajnih transporta, greške vertikalne raspodele su značajne, mogu biti dvostruko veće od stvarnih, i za labilnu i za stabilnu stratifikaciju.

Efektivna visina dimnjaka odredjena prema Holandovoj jednačini je približno tačna, pa se ne smeju zanemariti izvesna odstupanja pri odredjivanju koncentracije SO_2.

Da bi se dobila što potpunija podloga za projektovanje ovakvih industrijskih objekata, potrebno je postaviti osnove tzv. "Klimatologije difuzije"; ova omogućuje da se prikažu uticaji meteoroloških parametara na zagadjenost vazduha a prema prostornom modelu. Prikaz ovakve raspodele zagadjenog vazduha zasnovan na "Klimatologiji difuzije", moguće je samo upotrebom računara, elektronskom obradom podataka iz datoteke meteoroloških i mikroaeroloških merenja i ispitivanja.

Uopšte se može reći, da metodologija merenja i ispitivanja zagadjenosti vazduha u lokalitetu jakih izvora ima kratku prošlost. Njeni rezultati su uglavnom, teorijske prirode, dok praktična primena nailazi na više prepreka i teškoća.

Prve se teškoće javljaju pri organizovanju sistematskih i neprekidnih merenja i ispitivanja meteoroloških parametara neophodnih za proračun difuzije zagadjenog vazduha u lokalitetu i širem fizičko-geografskom području ovakvih objekata. Zatim, vrlo je teško uspešno utvrditi veze izmedju vrednosti trubulencije i meteoroloških parametara, stratifikacije atmosfere i profila vetra. Naime, potrebni su podaci višegodišnjih merenja i detaljnija analiza meteoroloških elemenata i pojava u lokalitetima. Tek, tada mogli bi se izvesi ispravniji

zaključci neophodni za procenu visine dimnjaka ili utvrditi prostornu raspodelu štetnih materija. Takodje su velike teškoće pri merenju i ispitivanju koncentracije i utvrdjivanju fona zagadjenog vazduha, kako bi se prikazala prostorna raspodela zagadjenosti vazduha, pre izgradnje objekata-zagadjivača.

Isto tako, pri merenju meteoroloških i fizičko-hemijskih parametara javljaju se brojne teškoće: instrumenti i pribori su vrlo skupi, stanice i terenska merenja se organizuju u vrlo složenim fizičko-geografskim područjima, udaljenim od komunikacija i veza i td.

Zbog relativno kratkog vremena koji stoji na raspolaganju od predloga za projektovanje termoelektrane do zahteva za meteorološkim podacima za realizaciju projekta, ne mogu se dobiti reprezentativni i višegodišnji meteorološki parametri.

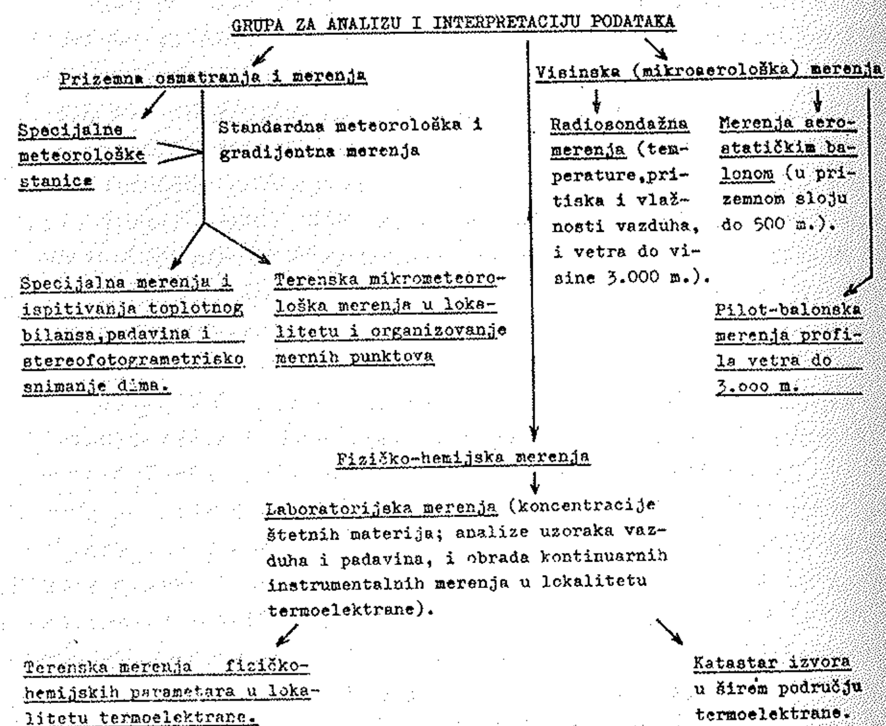
Da bi se zaštitila okolna sredina od zagadjenog vazduha sa meteorološkog aspekta potrebno je odgovoriti na postavljeno pitanje projektantu: koju visinu dimnjaka, brzinu izlazećeg dima i njegovu temperaturu treba uzeti u projekat, pa da zagadjivanje atmosfere u okolnoj sredini buduće termoelektrane ostane u granicama zakonom predvidjenih vrednosti? Treba primetiti, da se od meteorološke službe tada zahteva da proračunata visina dimnjaka bude ekonomski opravdana. Naime, potrebno je utvrditi minimalnu visinu dimnjaka pri kojoj će raspodela koncentracije na zemljinoj površini biti ispod dozvoljene vrednosti, pri svim sinoptičkim (vremenskim) situacijama.

Prema Pravilniku o tehničkim merama i uslovima za izvodjenje istraživačkih radova kod izgradnje velikih objekata ("Sl.list sFRJ" br. 3/70), Republičkom zakonu o zaštiti vazduha od zagadjenja na teritoriji SR Srbije ("Sl.glasnik SRS" br.8/73 i 31/77), kao i prema Pravilnicima o projektovanju objekata, postrojenja i uredjaja koji svojim radom mogu zagaditi vazduh ("Sl.glasnik SRS" br. 27/73 i 50/70) propisani su tzv. "meteorološki istraživački radovi" za objekte kao što su termoelektrane, toplane i drugi izvori zagadjenosti vazduha.

<u>Program meteoroloških istraživačkih radova</u>

U saradnji sa elektroprivrednim i projektantskim organizacijama Republički hidrometeorološki zavod SR Srbije razradjuje program meteoroloških istraživačkih radova za potrebe

izgradnje termoelektrana a u cilju zaštite životne sredine u lokalitetu. Radi sprovodjenja programa Zavod osniva posebnu organizacionu jedinicu čiji je osnovni zadatak da razradi metodologiju merenja, obrade i analize ovih meteoroloških elemenata i pojava koji su značajni za proračun trasporta i difuzije zagadjenog vazduha iz dimnjaka buduće termoelektrane. Isto tako, ova organizaciona jedinica u saradnji sa drugim organizacionim jedinicama i organizacijama izvan Zavoda, razradjuje metode prognoziranja najnepovoljnijih uslova pri kojima se mogu očekivati opasne koncentracije, kao i za organizovano praćenje tzv. "katastra zagadjivača" u području rudarko-energetskih basena na teritoriji SR Srbije.



Sl.3.25. Organizaciona shema merenja i obrade meteoroloških i fizičko-hemijskih parametara kod termoelektrana.

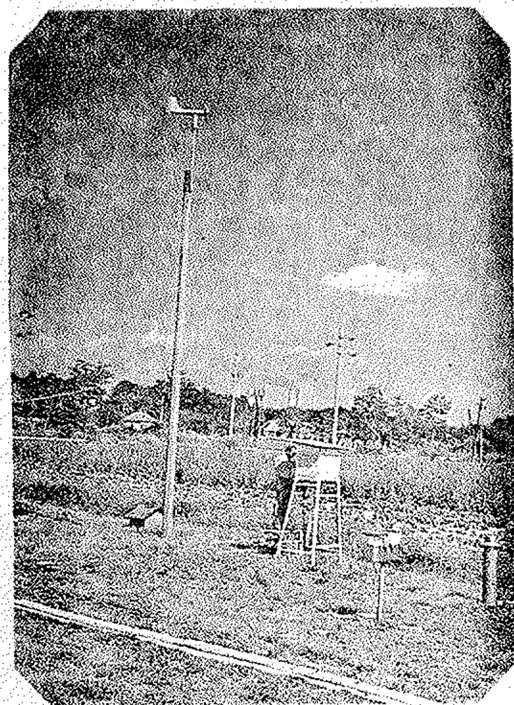
Kao što je poznato, prostiranje zagadjenosti vazduha u atmosferi zavisi od procesa koji su odredjeni sastavom i temperaturom dima, visinom dimnjaka i dr. fizičko-hemijskim osobinama izvora s jedne strane, i mirkometeorološkim i mikroaerološkim uslovima s druge strane. Zbog toga, ovakva istraživanja uključuju pored meteorologa i druge profesije - fizičare, fiziko-hemičare, tehnologe, rudarske i elektro-inženjere i dr. Na sl.3.25. prikazana je organizaciona struktura specijalizovane jedinice za merenje, kontrolu i prognoziranje zagadjenog vazduha u lokalitetu termoelektrana.

Organizacija prizemnih meteoroloških merenja i osmatranja

U lokalitetu buduće temrmoelektrane postavlja se specijalna meteorološka stanica, ukoliko u širem fizičko-geografskom području već nema meteorološke stanice. Medjutim, lokacije termoelektrana su najčešće udaljene od meteoroloških stanica na kojima se vrše standardna osmatranja. Isto tako, zbog specifičnog programa merenja meteoroloških elemenata i pojava za potrebe projektovanja termoelektrane organizuju se specijalne meteorološke stanice u samom lokalitetu buduće termoelektrane. Na specijalnim stanicama merenja se vrše prema proširenom programu osmatranja i sa specijalizovanim instrumentarijem i metodikom ispitivanja.

Na sl.3.26. prikazana je specijalna meteorološka stanica postavljena u lokalitetu termoelektrane koja se podiže u posavsko-tamvavskom basenu. Na ovoj stanici sistematski i neprekidno se beleže svi meteorološki elementi i pojave, kao što su temperatura i vlažnost vazduha i zemljišta, pritisak vazduha, pravac i brzina vetra, sunčevo zračenje, oblačnost, padavine kao i atmosferske pojave (magla i td) i njihov intenzitet i trajanje.

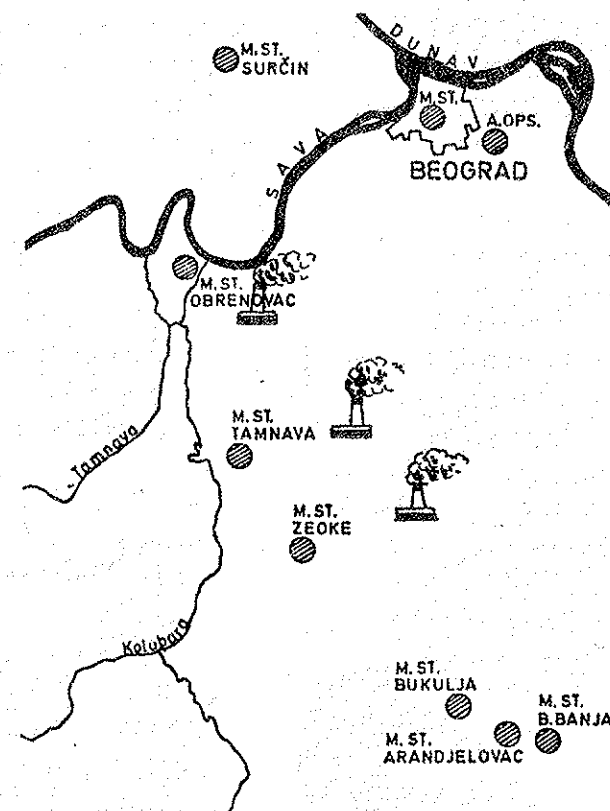
Koristeći se karakterističnim oblicima reljefa u široj i bližoj lokaciji termoelektrane organizuju se i tzv."merni punktovi". Ovo omogućuje da se u složenim uslovima reljefa dobiju podaci o meteorološkim parametrima na vrhu, padini i u podnožju lokaliteta. Na svakom punktu meri se: temperatura i



Sl.3.26. Specijalna meteorološka stanica u lokalitetu termoelektrane "Tamnava"

vlažnost vazduha, i pravac i brzina vetra. Ovakvi su pounktovi vrlo pogodni za uporedna merenja pri terenskim ispitivanjima koncentracije zagadjenog vazduha i meteorološkim parametrima, radi utvrdjivanja tzv. "fona zagadjenja" pre izgradnje termoelektrane. Raspodela ove fonske (osnovne) koncentracije dodaje se pri proračunu prostorne i vremenske raspodele zagadjenosti oko termoelektrane kada se projektom utvrde hemijski parametri.

Radi primera, na sl.3.27. prikazana je raspodela specijalnih meteoroloških stanica i mernih punktova na širem području rudarsko-energetskog basena Kolubara i termoelektrane "Nikola Tesla", kada se koristila konfiguracija terena sa različitom nadmorskom visinom.



Sl.3.27. Raspodela specijalnih meteoroloških stanica i mernih punktova

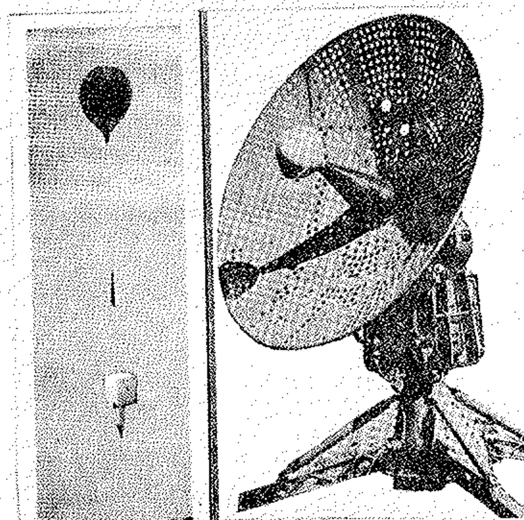
Organizacija visinskih (mikroaeroloških)merenja

Podaci o meteorološkim elementima i pojavama u prizemnom sloju vazduha su neophodni za utvrdjivanje termičkog režima i raspodele različitih brzina vetra iz različitih pravaca. Isto tako, i ostali podaci o oblačnosti, padavinama i vlažnosti kao i o čestinama javljanja i intenzitetu atmosferskih pojava su neophodni, kako za odredjivanje karakterističnih stanja u prizemnom sloju i istovremene statističke analize režima vetra i stabilnosti, tako i za potrebe projektovanja rashladnih tornjeva, a i drugih delova objekata termoelektrane koji će uticati na okolnu sredinu. Medjutim, s obzirom na vi-

sinu dimnjaka i uticaje atmosferskih procesa na transport dima, ovi podaci prizemnih merenja i osmatranja nisu potpuni. Zbog toga se istovremeno sa prizemnim osmatranjima organizuju i visinska mikroaerološka merenja.

Da bi se dobili podaci o temperaturi, vlažnosti i pritisku vazduha do visine 3000 m postavlja se mikroaerološka stanica za radiosondažna merenja pomoću Rawin - sonde. Ova vrlo složena merenja veoma su skupa i zahtevaju posebne uslove rada u lokalitetu, ali daju najreprezentativnije podatke o promenama vetra i temperature sa visinom, koji su neophodni pri izračunavanju karakterističnih stanja i izradi modela o prostornoj raspodeli koncentracije u lokalitetu termoelektrane.

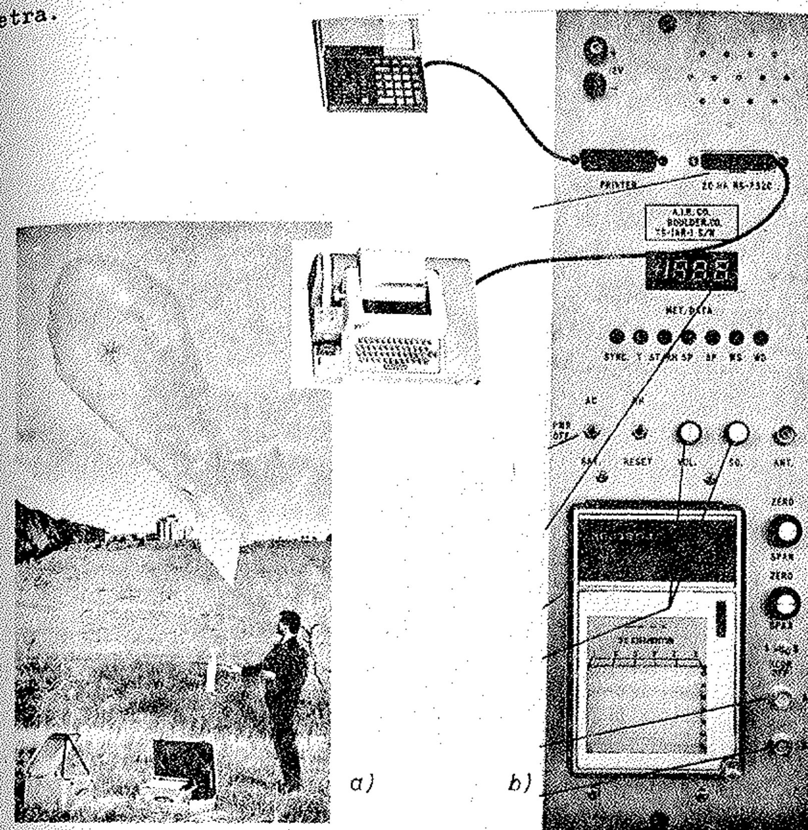
Da bi se dobila što detaljnija raspodela vrednosti pomenutih parametara sa visinom naročito u onom donjem, prizemnom sloju do 500 m organizuju se sondiranja prizemnog sloja atmosfere pomoću radio-sonde vezane za aerodinamički balon. Na sl.3.28. i 3.29. prikazane su sondaže atmosfere pomoću Rawin-sonde i vezanog balona.



Sl.3.28. Radiosondažni uredjaj RAWIN i sonda sa balonom

Radio uredjaj vezan za aerodinamički balon emituje podatke o temperaturi, pritisku i vlažnosti vazduha na visinama koje se odredjuju elektronskim putem. Emitovani podaci o ovim parametrima registruju se na dijagramskoj traci na prijemniku, a odatle se uvode u računar koji je već pripremljen za izračunavanje gradijenta i karakterističnih stanja. Na ovaj način, unoseći podatke o fizičko-hemijskim parametrima i izmerenim meteorološkim parametrima o gradijentu temperature i profilu vetra, mogu se dobiti raspodele koncentracije u uzanom sektoru duž preovladjujućeg pravca

vetra.

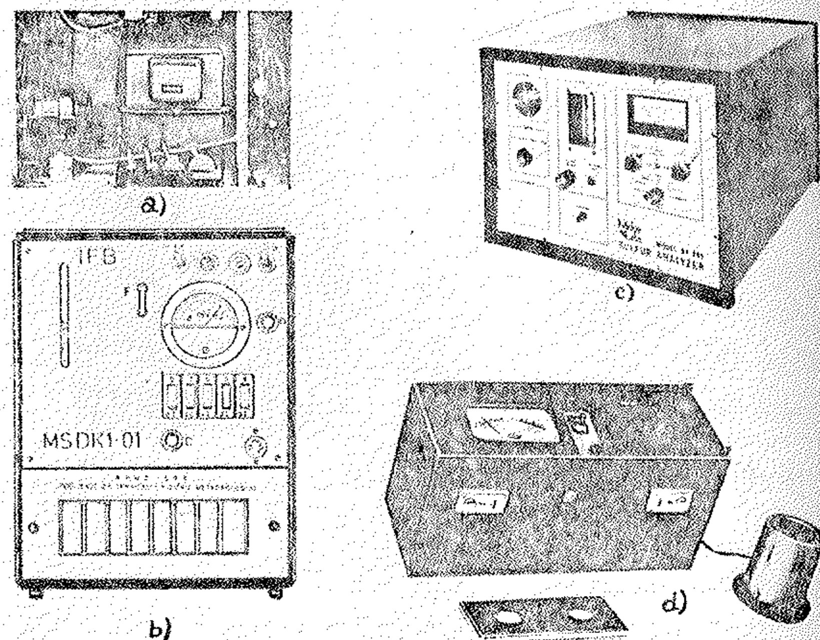


Sl.3.29. Sondiranje prizemnog sloja atmosfere. Puštanje aerostata (a) i prijemnik sa računarom (b)

Fizičko-hemijska merenja i ispitivanja

Da bi se utvrdilo osnovno (fonsko) zagadjenje vazduha u lokalitetu buduće termoelektrane na specijalnoj meteorološkoj stanici i mernim punktovima organizuju se merenja zagadjenosti vazduha i padavina. Zagadjenost vazduha se utvrdjuje merenjem koncentracije SO_2 i čestične zagadjenosti pomoću hemijske analize 24-oro časovnog uzorka a prema West- Gejkovom metodu. Na specijalnoj stanici postavlja se SA-285 sumporni analizator sa neprekidnim registrovanjem koncentracije metodom

plamenog fotometra. U meteorološkoj službi SRS usvojen je ovaj vrlo osetljiv registrirni instrument firme Meloy, pogodan za uporedna merenja sa meteorološkim parametrima. Nabavka, postavljanje i održavanje ovih instrumenata je vrlo skupo i složeno, pa se najčešće za merenje zagadjenosti vazduha u širem području lokacije termoelektrane, na mernim punktovima, koriste instrumenti za registrovanje SO_2-kulografi. Ovi instrumenti postavljaju se najčešće u rudarsko-energetskim basenima u kojima već postoje izgradjene termoelektrane (Kolubara, Kosovo), radi kontrole nivoa zagadjenog vazduha. Na sl.3.30. prikazani su uredjaji za merenje zagadjenosti vazduha.

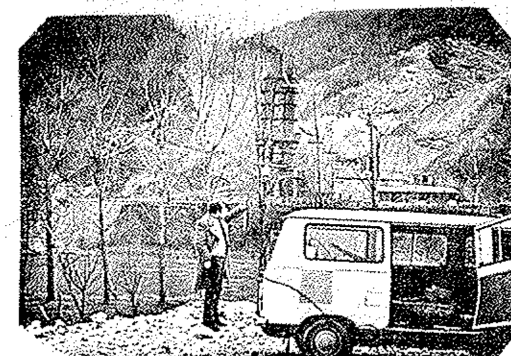


Sl.3.30. Instrumenti za merenje zagadjenosti vazduha: a) ispiralica; b)kulograf, c) analizator sumpordioksida-Meloy i d) reflektometar za čestičnu zagadjenost

Pomoću automatskog kišomera uzimaju se uzorci padavina, koji se u laboratoriji Zavoda hemijski analiziraju a podaci se koriste radi utvrdjivanja spiranja koncentracije

štetnih materija u lokalitetu. Na sl.3.26. (ispred zaklona) prikazan je automatski kišomer predložen od Svetske meteorološke organizacije. Sakupljanje padavina za analizu ispravno se može sprovesti samo pomoću automatskog kišomera koji se otvara samo na početku padavina, tako da se sa padavinom ne mešaju nataložene čestice (sedimenti), što se ne može izbeći kod klasičnih kišomera, bez fotoćelije.

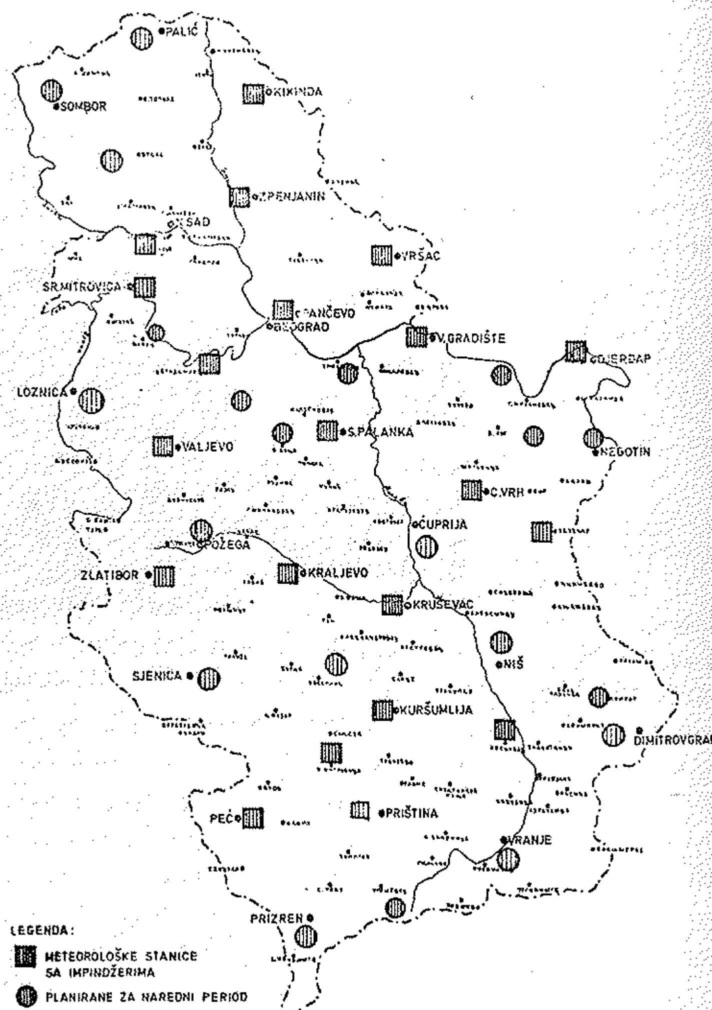
Terenska merenja i ispitivanja zagadjenosti vazduha u lokalitetu elektrane vrše se istovremeno sa meteorološkim kada se ispituju prostorne raspodele temperature, vlažnosti i pravca i brzine vetra u lokalitetu. Na sl.3.31. prikazan je jedan terenski punkt na kome se vrše uporedna merenja.



Sl.3.31. Terenska merenja meteoroloških elemenata i zagadjenosti vazduha

Da bi se proučile prostorne i vremenske raspodele zagadjenosti vazduha u mikro-situacijama na teritoriji Republike u celini, tehnička meteorologija posvećuje posebnu pažnju. Tako, na primer, osim sprovodjenja programa istraživanja o zagadjenosti vazduha sa meteorološkog aspekta kod rudarsko-energetsko-hemijskih objekata i lokaliteta, još se uporedno sprovode i sledeći programi: 1. Sistematsko praćenje zagadjenosti vazduha na teritoriji Republike koristeći se mrežom meteoroloških stanica; 2. Ispitivanje prostorne i vremenske raspodele zagadjenosti vazduha u područjima velikih gradova; 3. Organizovanje uporednih ispitivanja meteoroloških parametara i zagradjenosti vazduha, radi prognoziranja trenda zagadjenog vazduha u zavisnosti od stanja i promene atmosferskih uslova, i načina obaveštavanja javnosti i svih zainteresovanih faktora. Svakako da su za ovakva ispitivanja potrebna velika materijalna sredstva i dobra opremljenost instrumentima i priborom.

Na sl.3.32. prikazana je mreža meteoroloških stanica na teritoriji SR Srbije za praćenje i kontrolu zagadjenosti vazduha. Na stanicama se sistematski i neprekidno mere koncentracije sumpordioksida i dima.



Sl.3.32. Mreža meteoroloških stanica za merenje zagadjenosti vazduha na teritoriji SR Srbije (1976.).

LITERATURA

Anić B.: MEZOKLIMATSKA ANALIZA OBLASTI PANČEVA SA GLEDIŠTA DIFUZIJE PRIZEMNOG SLOJA VAZDUHA, I Kongres za hemijsko inženjerstvo i procesnu tehničku, Beograd, 1971.

Berljand,M.E.: Trudi GGO, vip. 158, 1964.

Berljand,M.E.i Genihović E.L. METEROLOGIČESKI ASPEKTI ZAGRAZNENIA ATMOSFERI, Gidrometeoroizdat, 1971.

Berljand,M.E.: Trudi GGO vip.344, 1974.

Berljand,M.E.: OB APASNIH ZAGRJAZNENIJA ATMOSFERI PROMIŠLJENIMI VIBROSAMI Tr. 66o, vip.185, 1966.

Bosanquet,C.H i Pearson J.L: THE SPREAD OF SMOKE AND GASES FROM CHIMNEYS, Trans.Faraday Soc. 32.1936.

Bosanquet,C.H., i W.F. Carey, and E,M.Jalton: DUST FROM CHIMNEY STAKS. Proc. Inst. Mech. End.162, 1950.

Briggs,G.A. : PLUME RISE MODEL COMPARED WITH OBSERVATIONS, J. Air Pollution Control Assoc, vol.15. 1965.

Cramer,H.E.: A BRIEF SURVEY OF THE METEOROLOGICAL ASPEKTS OF ATMOSPHERIC POLLUTIONS, Bull.Amer.Meteor. Soc. 4o.4.,1959.

Gifford,F.A.: USES OF ROUTINE METEOROLOGICAL OBSERVATIONS FOR ESTIMATING ATMOSPHERIC DISPERSION. Nuclear Safety,2, 4. 1961.

Holland,J.Z.: A METEOROLOGICAL SURVEY OF THE OAK RIDGE AREA, USA EC Report ORO-99,1953.

Hoy J.S: i Pasquill F.: DIFFUSION FROM A CONTINUOUS SOURCE IN RELATION TO THE SPECTRUM AND SCALE OF TURBULENCE Advances in Geophysics t. 1969.

Lajhtman,D.L. i Zilintinkević S.S.: TURBULENTNIJ REŽIM V PRIZEMNOM SLOE ATMOSFERI. Izv. AN SSSR, ser.fiz.atm. okeana T.1, No 2,1965.

Letau,H.: BEITR. PHYS.d.Atmosphere, 1957.

Monin, A.S.: Dokl. AN SSSR, 1o5. No 2 1955.

Monin,A.S.: Obuhov A.M.: Dokl. AN SSSR, 93,No 2,1953.

Panofsky, H.A. J.GEOPHYS, Res.v.67, No 8 1962.

Paradiž,B: VREDNOST ENAČB ZA DOLAČANJE EFEKTIVNIH VIŠIN DIMNIKOV PRI KRITIČNIH VREMENSKIH RAZMERAH, I Kongres za hemijsko inženjerstvo i procesnu tehniku, Beograd, 1971.

Pasquill,F: ATMOSPHERIC DIFFUSION, D.Van Nastrand Company LTD, London, 1962.

Pasquill,F: THE ESTIMATION OF THE DISPERSION OF WIND BORNE MATERIAL, Meteor. Mag. 90-1063,1961.

Petkovšek,: KLIMATSKI PODAJI IN ONESNAŽENJA ZRAKA V KOTLINAH, I Kongres za hemijsko inženjerstvo i procesnu tehniku, Beograd, 1971.

Plazinić,S.: MERENJA METEOROLOŠKIH PARAMETARA POTREBNIH ZA PRORAČUN ATMOSFERSKE DIFUZIJE ZAGADJENOSTI VAZDUHA KOD TERMOELEKTRANE "KOSOVO",I Kongres za hemijsko inženjerstvo i procesnu tehniku, Beograd, 1971.

Plazinić,S.: METEOROLOŠKI PARAMETRI ZNAČAJNI ZA PRORAČUN DIFUZIJE ZAGADJENOSTI VAZDUHA IZNAD ŠIREG PODRUČJA GRADA Beograda, Savetovanje o aerozagadjenju, Beograd, 1972.

Scorer,R.S.: THE BEHAVIOR OF CHIMNEY PLUMES, I intern. J. Air Pollut 1959.

Slade,D.H.: (ed) METEOROLOGY AND ATOMIC ENERGY 1968.TID 2419o.

Smith,M.: (ed) RECOMMENDED GUIDE FOR THE PREDUCTION OF THE DISPERSION OF AIRBORNE EFFLUENTS Am.Soc. Mech. Eng.1968.

Sutton, O.G.: A THEORY OF EDDY DIFFUSION IN THE ATMOSPHERE Proc. Roy. Soc. A. 135. (1932).

Sutton,O.G.: Quart. J. Roy. Meteor.Soc., 73.257 (1947).

Sutton,O.G.: MIKROMETEOROLOGY, Mc Graw-hill.New York,1953.

Sutton,O.G.: THE DISPERSION OF HOT GASES IN THE ATMOSPHERE, J.Meteorology, 7 (s), 1950.

Szepesi,D.: LEGARENNYEZO ANYAGOK TURBULENS DIFFUŽIONAK METEOROLOGIAL FOLTELEI MAGY AEORSZAGON,Budapest,1967.

Turner, B.D.: WORKBOOK OF ATMOSPHERIC DISPERSION ESTIMATES, u.s. Env. Protection Agency,1970.

Udovičić, B.: PRAVNO REGULISANJE ZAŠTITE VAZDUHA OD ZAGADJIVANJA, I Kongres za hemijsko inženjerstvo i procesnu tehniku, Beograd, 1971.

Vidovin,B.I., Gorčiev, A.A.: TIPOVIE PROFILI TEMPERATURI V NIŽEM KILOMETROVOM SLOE ATMOSFERI,Tr 660, Vip.238, 1969.

Vukmirović,D.: AEROLOŠKA ISPITIVANJA U OKVIRU STUDIJA ZAGADJENOSTI VAZDUHA U PANČEVU,BORU I PRAHOVU, I Kongres za hemijsko inženjerstvo i procesnu tehniku, Beograd, 1971.

ATMOSFERSKA ELEKTRIČNA PRAŽNJENJA

4.1 Uopšte o atmosferskom elektricitetu

Savremena proučavanja atmosferskog elektriciteta uglavnom se odnose na istraživanja električnih pojava koje se dešavaju u troposferi, i naročito u stratosferi. Priroda ovih pojava, pa prema tome i metodi istraživanja u troposferskim slojevima, u osnovi se razlikuju od onih u visokim slojevima atmosfere, u jonosferi.

Električne pojave koje se javljaju u troposferi mogu se predstaviti strukturom električnog polja, raspodelom prostornog naelektrisanja, električnom strujom koja neprekidno teče u atmosferi i mnogim drugim parametrima. Razlikuju se istraživanja pri "lepom vremenu", odnosno vedrom nebu, bez vetra i atmosferskih pojava, za razliku od onih kada se ispituju električni procesi pri "poremećenim uslovima", oblačnom nebu, padavinama, vetru, atmosferskim pojavama, kao i u raznim vrstama oblaka, a naročito u grmljavinskim oblacima. Ovaj deo atmosferskog elektriciteta u grmljavinskim oblacima, koji se odnosi na razvoj i dinamiku atmosferskih električnih pražnjenja, često se u literaturi posebno razmatra.

Proučavanja atmosferskog elektriciteta u visokim slojevima atmosfere, u jonosferi, sadrže istraživanja električnih pojava koje dovode do stvaranja jonizacionih slojeva u atmosferi, postanak i kretanje jona i električne struje u visokim slojevima i dr. Neposrednim merenima ispituju se strukture jonosferskih slojeva. Ispitivanja električnih pojava u jonosferi predmet su fizike i hemije o visokim slojevima atmosfere.

Mada su električne pojave u atmosferi povezane, meteorološki elementi i pojave, prvenstveno oblačnost, vetar, padavine i nepogode, utiču na njihov tok i promene samo u troposferi, dok na električne pojave koje se dešavaju u visokim slojevima atmosfere utiču korpuskularno i ultraljubičasto zračenja Sunca, upad meteora u zemljinu atmosferu, zračenje zvezda i kosmičko zračenje. Zbog toga, pod atmosferkim elektricitetom podrazumevamo sva istraživanja električnih pojava bilo da se ona odnose na jonizaciju, provodljivost, električno polje i struje u atmosferi, ili naelektrisanja u oblaku, padavinama, magli, polarnoj svetlosti i dr.

Radi lakšeg razmatranja ove problematike atmosferski elektricitet se deli u više grupa:

Istraživanja električnih pojava pri "lepom vremenu" (vedrom nebu),

Istraživanja električnih pojava pri "poremećenom vremenu" (oblačnom nebu, turbulenciji itd),

Grmljavinski electrictet i fizika atmosferskih električnih pražnjenja,

Električne pojave u atmosferi i fizičke i geofizičke pojave, i

Prostorni electrictet (elektricitet u vasioni).

Složeni uslovi merenja električnih pojava u atmosferi zahtevaju vrlo precizne instrumente sa "osetljivom tehnikom merenja". Karakteristična osobina atmosferskog elektriciteta je vrlo širok dijapazon veličina njegovih parametara. Tako, na primer, pri lepom vremenu jačina vertikalne struje se menja od 10^{-6} do 10^{-4} A/cm². Provodljivost atmosfere pri zemljinoj površinih se menja od 10^{-16} do 10^{-14} S, a na visini 100 km iznad zemljine površine od 10^{-7} do 10^{8} S.

Instrumenti za merenja atmosferskih električnih pojava, osim što su vrlo osetljivi i precizni, moraju meriti iznenadne i kratkotrajne električne pojave u složenim meteorološkim uslovima.

Atmosferska električna pražnjenja pri grmljavinskim nepogodama traju od nekoliko desetina mikrosekundi do stotih delova milisekunde, i javljaju se jedna za drugom u različitim vremenskim intervalima od desetih delova sekunde do deset minuta.

Potrsba za podacima o atmosferskom elektricitetu zahtevaju od tehničke meteorologije posebne napore pri obradi i pripremi za primenu ovih podataka u praksi u oblastima elektroprivrede, radiodifuzije, zaštiti objekata i zaštiti i unapredjenju životne sredine.

Podaci o električnim pojavama koje se javljaju u jonosferi i o grmljavinskom elektricitetu, posebno podaci o atmosfericima (elektromagnetnim talasima koje emituju atmosferska električna pražnjenja) veoma su važni za obezbedjenje nesmetane i sigurne radio-veze.

Radi proučavanja i praćenja meteoroloških procesa u atmosferi posebno u nepogodskim oblacima, podaci o električnim pojavama koriste se u prognozi vremena, radarskoj meteorologiji i protivgradnoj zaštiti. Ispitivanja stvaranja grada istovremeno se vrše sa merenjima naelektrisanja čestica u gradonosnim oblacima.

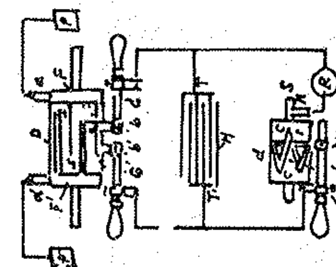
Za projektovanje, izgradnju i održavanje gradjevinskih objekata i konstrukcija, a naročito dalekovoda, trafostanica, PTT vodova, televizijskih releja, antena i drugih,za koje udar groma i atmosferki električni prenaponi predstavljaju opasnost, veoma su važni podaci o broju atmosferskih električnih pražnjenja na jedinicu površine, njihovoj prostornoj i vremenskoj raspodeli na lokaciji objekta ili duž trase. Podaci o atmosferskim električnim pražnjenjima su uopšte značajni za zaštitu životne sredine.

Zbog toga je ovaj deo tehničke meteorologije posvećen merenju, obradi i interpretaciji podataka o broju atmosferskih električnih pražnjenja na jedinicu površine, 1 ili 100 km^2.

4.2 O istraživanjima broja atmosferskih električnih pražnjenja

Protekle su mnoge decenije od kako je Tesla posmatrao grmljavinske nepogode i istovremeno registrovao atmosferska električna pražnjenja, pomoću prijemnika sopstvene konstrukcije (s.4.1). Posmatrajući reagovanje svog instrumenta za registraciju atmosferskih električnih pražnjenja Tesla konstatuje da prijemni signal ne opada sa udaljenjem grmljavinske nepogode, već se periodično ponavlja i to, čak i kada se horizont na mestu laboratorije razbistrio. Ovaj Teslin prijemnik -brojač atmosferskih električnih pražnjenja, bio je znatno savršeniji od brojača koji je 1895. konstruisao ruski fizičar

A.S.Popov. Mada je Popov konstruisao prvi upotrebljivi prijemnik za registraciju električnih impulsa koji potiču od atmosferskih električnih pražnjenja,Tesla ugradjuje u svoj brojač rotirajući koherer koga ne treba protresati posle prijema impulsa,pošto se neprekidno "dezaktivirao"usled rotacije,što je imalo velikih prednosti. Uz rotirajući koherer Tesla koristi kondenzator za akumulaciju energije pojedinih impulsa i tako povećava osetljivost svog brojača (A.Marinčić,1974.).



Sl.4.1.Teslin uredjaj za otkrivanje prisustva talasa atmosferskih električnih pražnjenja

U toku osmatranja jake grmljavinske nepogode koja se dogodila 3. i 4. jula 1899. godine, Tesla opaža da je samo u toku dva časa trajanja nepogode bilo oko deset hiljada električnih pražnjenja, a pošto se ova udaljila izvan horizonta,čak i 15 do 20 pražnjenja u minutu.

Skoro 30 godina kasnije R.Biro (1930) konstruiše osetljiviji brojač atmosferskih električnih pražnjenja sa kojim opaža grmljavinske nepogode na hladnom frontu udaljenom 3000 km od mesta registracije. Ovaj eksperiment R.Biroa ukazao je na mogućnost beleženja vrlo udaljenih atmosferskih električnih pražnjenja.

Istovremeno sa R.Biroom, švajcarski fizičar i meteorolog J.Ližon predlaže svoj metod merenja geografskog položaja grmljavinskih nepogoda, a takodje i uredjaj za registrovanje atmosferika, pod nazivom atmoradiograf, koji omogućava da se na velikim udaljenjima proceni intenzitet meteoroloških procesa - izvora atmosferskih električnih pražnjenja.

Prva kompletna osmatranja i praćenja grmljavinskih nepogoda - izvora atmosferskih električnih pražnjenja i rasprostiranja atmosferika sprovodi 1915. u V.Britaniji Rober Vatson-Vat (1947) pronalazač radara. Ispitujući rasprostiranje atmosferika Vat i E.Aplton beleže grmljavinska električna pražnjenja na velikim daljinama i usavršavaju metod prognoziranja

grmljavinskih nepogoda pomoću radio-talasa. Odredjivali su geografske položaje izvora atmosferskih električnih pražnjenja na rastojanjima većim od 2000 km od stanice. Proučavanja rasprostiranja atmosferika i lokacije izvora atmosferskih električnih pražnjenja omogućila su Vatu da četiri godine pre Drugog svetskog rata začne ideju o izgradnji radara.

U periodu izmedju dva rata karakteristična su dva glavna pravca istraživanja atmosferskih električnih pražnjenja i atmosferika: engleski i francusko-švajcarski. U V.Britaniji pažnja je posvećena odredjivanju individualnog spektra atmosferika, uslovima njihovog rasprostiranja kao i odredjivanja položaja njihovog izvora. U Francuskoj i Švajcarskoj istraživanja su posvećena primeni u sinoptičkoj meteorologiji, prikupljanju podataka o nestabilnim područjima sa brojnim električnim pražnjenjima i atmosfericima, o kretanjima njihovog izvora itd.

Za vreme drugog svetskog rata, kada su ratni zadaci na neprijateljskoj teritoriji zahtevali što potpunije meteorološke podatke, radiometeorološka služba Engleska bila je od velike koristi. Po završetku rata ova služba nastavlja istraživanja i svakodnevno objavljuje podatke o atmosfericima u posebnoj radio-emisiji pod nazivom "Sferik". Uskoro i francuska meteorološka služba u svojim emisijama objavljuje podatke o izvorima atmosferskih električnih pražnjenja, a zatim i Švajcarska, upotrebljavajući kao i francuzi za ove podatke kodeks "Atmos".

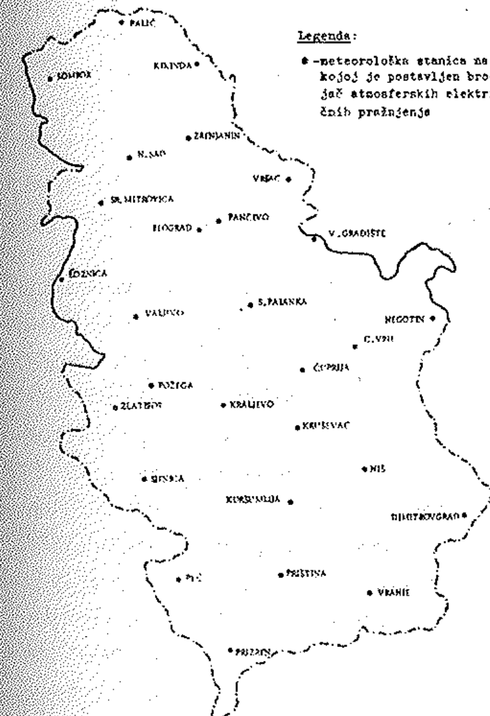
Pojavom radiometeoroloških metoda započela je i medjunarodna razmena podataka o atmosferskim električnim pražnjenjima, njihovom geografskom položaju, broju i uopšte o električnim pojavama vezanim za grmljavinske nepogode. Tada se osniva specijalizovana disciplina meteorologije "radiometeorologija" koja pruža pomoć vazdušnom saobraćaju, radiokomunikacijama, zaštiti električnih vodova visokog napona i mnogim dr.

Medjunarodna meteorološka organizacija osniva 1935. godine Medjunarodnu komisiju za radioatmosferike, koja je praktično počela da radi pred Drugi svetski rat, a obnavlja se 1947. godine pod imenom "Komisija za radioelektričnu meteorologiju" u sklopu Svetske meteorološke organizacije (SMO).

Poslednjih godina istraživanja o atmosferskim električnim pražnjenjima, njihovom broju i geografskom položaju

izvora, kao i uslovima rasprostiranja atmosferika, koja jednim imenom nazivamo radiometeorološkim, naglo napreduju zahvaljujući u prvom redu, razvoju tehnike. Danas se smatra da ne postoji ni jedna članica SMO koja nije već organizovala radiometeorološku službu bilo u okviru geofizičkih ili meteoroloških institucija.

Postavljajući mrežu brojača atmosferskih električnih pražnjenja na teritoriji SR Srbije (sl.4.2) i organizovanjem sistematskih osmatranja i merenja broja atmosferskih električnih pražnjenja i atmosferika, kao i uvodjenjem njihovih uporednih ispitivanja sa radarskim osmatranjima, i u našoj zemlji započinju 1964.godine radiometeorološka istraživanja.



Sl. 4.2. Mreža meteoroloških stanica sa brojačima atmosferskih električnih pražnjenja

4.3 Meteorološka i električna struktura grmljavinskih oblaka

Ispitivanja o atmosferkim električnim pražnjenjima naglo se proširuju u periodu gradnje velikih i skupih gradjevinskih objekata i konstrukcija koje su pri eksploataciji izloženi udaru groma i atmosferskim električnim prenaponima. Da bi se sprovele efikasnije mere zaštite ovakvih objekata i konstrukcija, morali su se prethodno proučiti i upoznati postanak i razvoj grmljavinskih oblaka, njihova meteorološka i električna struktura

a naročito mehanizam atmosferskog električnog pražnjenja u oblaku i izmedju oblaka i zemljine površine.

Pod grmljavinskom nepogodom u širem smislu podrazumevamo kompleks pojava, koje se uz električne pojave javljaju u grmljavinskom ili olujnom oblaku, kumulonimbusu,kao što su pljuskovi kiše, grada i snega, i olujni vetar. Medjutim, pod grmljavinskom nepogodom, grmljavinom u užem smislu podrazumevamo pojavu električnog pražnjenja u kumulonimbusu ili izmedju jednog od područja u njemu i zemljine površine. Mogu se javiti jedna ili više iznenadnih električnih pražnjenja koje se manifestuju bleskom svetlosti (sevanjem) i oštrim zvukom ili zvukom kao da se nešto kotrlja (grmljenje). Pri ovom pražnjenju električna iskra ostavlja za sobom izlomljenu i razgranatu vatrenu liniju vrlo kratkog trajanja koju zovemo munja.

Na meteorološkim stanicama električne pojave se beleže naročitim medjunarodnim znacima (simbolima).

Znak Ꞃ beleži se kad se vidi munja i čuje grmljavina ili se čuje samo grmljenje. Ovaj znak stavljen u zagradu (Ꞃ) beleži se za grmljavinu u daljini, kada izmedju munje i grmljenja protekne više od 10 sekundi ili kada se čuje samo grmljenje u daljini. Za sevanje beleži se znak < kada se vidi munja ili odblesci od njih, ali ne čuje se grmljenje.

Grmljavinski oblak dobio je naziv kumulonimbus (cumulonimbus - beleži se znakom Cb) od latinskih reči cumulus, što znači gomila, i nimbus - kišni oblak.

Zbog konvekcije (jakog uzlaznog strujanja vazduha) gornji delovi kumulonimbusa dostižu velike visine. U tropskim oblastima vrhovi kumulonimbusa dopiru do visine 18 do 20 km, na umerenim širinama 11 do 15 km, a na većim širinama od 8 do 11 km. Prema podacima osmatranja meteorološkog radara Republičnog hidrometeorološkog zavoda vrhovi kumulonimbusa na teritoriji SR Srbije dostižu visinu od 15 km.

Gornji deo kumulonimbusa je razvučen u obliku nakovnja ili perjanice, glatke i vlaknaste strukture, i uvek odozgo spljošten.

Osnovnica kumulonimbusa je tamna pa se na njenoj osnovi zapažaju padavinske pruge zvane"virge". Ispod osnovice se mogu pojaviti niski, iskidani oblaci u obliku "krpa" nazvani "fraktusi".

Javljaju se dve vrste komulonimbusa, i to: calvus-ćelavi glatki i bez nakovnja, i capillatus-vlaknast, sa gornjim delom proširenim u obliku nakovnja. Kumulonimbus je sastavljen od vodenih kapljica, a u gornjim delovima od ledenih iglica. Sadrži i krupne kišne kapi, snežne pahuljice, krupu, sugradicu ili krupna zrna grada. Vodene kapi ili kišne kapi mogu biti vrlo prehladjene.

Kumulonimbusi nastaju uvek pri jakoj konvekciji i snažnim vertikalnim uzlaznim strujanjima. Usled ovoga su dimenzije komulonimbusa znatne tako da se oblak u celini može videti samo sa većeg odstojanja.

Komulonimbusi mogu biti izolovani ili poredjani u neprekidni niz, slično velikom zidu. Pri frontalnim grmljavinskim nepogodama javljaju se u nizu, a pri nefrontalnim pojedinačno i izolovano.

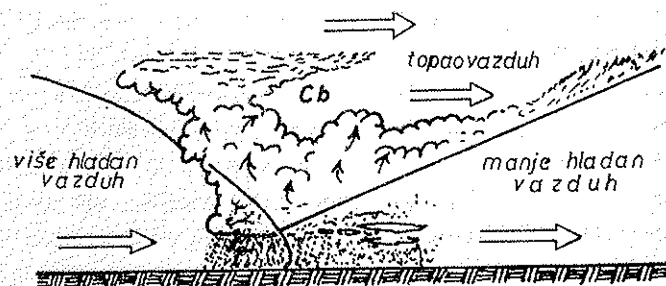
Nefrontalne, izolovane ili termičke grmljavinske nepogode nastaju unutar jedne vazdušne mase, najčešće u toploj polovini godine i pri vedrim danima, kada su male promene vazdušnog pritiska, a vetar slab. Zemljina površina je tada vrlo zagrejana i od nje najniži prizemni slojevi vazduha. U toku dana, zagrejani vazduh se diže prelazeći u jaku konvekciju. Ukoliko je, osim visoke temperature vazduha, velika relativna vlažnost nastaju pogodni uslovi za stvaranje kumulonimbusa. Pošto je konvekcija najjača u popodnevnim časovima toplotne grmljavinske nepogode najčešće se javljaju u popodnevnim ili večernjim časovima. Čestina javljanja i intenzitet toplotnih grmljavinskih nepogoda zavisi od geografske širine i fizičko geografskih uslova. Na teritoriji SR Srbije postoje lokaliteti u kojima se grmljavinske nepogode češće javljaju nego u ostalim. Takodje postoje i šira područja na kojima se izolovane nepogode javljaju istovremeno na više mesta i mogu trajati više dana uzastopno.

Kumulonimbusi frontalnih grmljavinskih nepogoda (na hladnom toplom ili frontu okulzije) nastaju na graničnoj površini izmedju vazdušnih masa sa različitim fizičkim osobinama.

Grmljavinske nepogode na hladnom frontu (sl.4.3) nastaju usled snažnog i burnog uzdizanja toplije i vlažnije

plog vazduha uz graničnu površinu fronta, i tada dolazi do intezivne konvekcije i razvoja kumulonimbusa. Grmljavinske nepogode ovog tipa vrlo retko se javljaju u našim krajevima. Osim manje čestine javljanja one su i slabijeg intenziteta od grmljavinskih nepogoda na hladnom frontu.

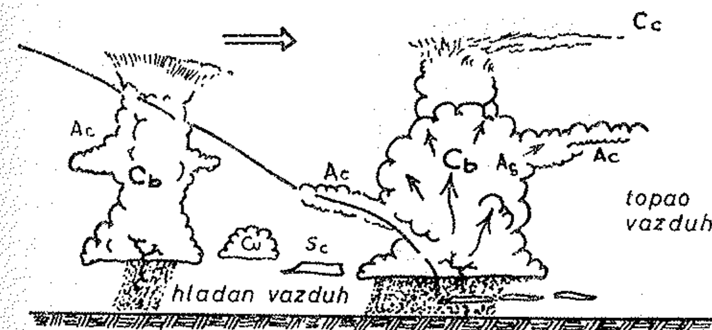
Grmljavinske nepogode koje se javljaju u našim krajevima nastaju i na frontu okluzije. Pod frontom okluzije podrazumevamo atmosferski front koji će nestati kad hladni front stigne topli pa čitava masa toplog vazduha bude istisnuta hladnom masom na visini iznad zemljine površine. Ukoliko ova topla vazdušna masa ima veliku vlažnost, stvorena nestabilnost dovešće do pojave kumulonimbusa, (sl.4.5).



Sl.4.5. Kumulonimbus na frontu okluzije

U razvoju kumulonimbusa, bilo da je nastao u nefrontalnoj ili frontalnoj grmljavinskoj nepogodi, razlikujemo karakteristične stadijume: početni ili kumulusni; zrelost ili kišni, i raspadanje. Na sl.4.6. prikazani su stadijumi razvoja Kumulonimbusa. Prema radarskim osmatranjima svaki od ovih stadijuma se sastoji od jedne ili više ćelija u kojima se javlja ju vertikalna strujanja vazduha, hidrometeori (kapljice kiše, snežne pahuljice, ledene iglice, zrna grada i krupe itd.) i električne pojave. Životni period ćelije iznosi oko jedan čas. Dimenzije ćelije su promenljive, u horizontalnom pravcu od 1.5 do 10 km, a u vertikalnom pravcu i znatno više. Za visinu ćelije se uzima rastojanje od osnovice kumulonimbusa ili blizu ove pa do područja u kojima temperatura vazduha iznosi oko -40°C

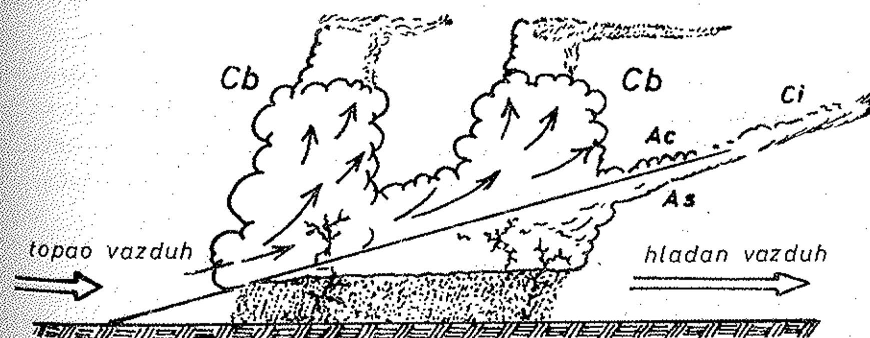
vazdušne mase pod koju prodire, podilazi hladna vazdušna masa. Razvoju kumulonimbusa na ovom frontu olakšavaju jaka nestabilnost vazdušnih masa i velika količina vodene pare u vazduhu. Ukoliko su veće razlike temperature izmedju tople i hladne vazdušne mase, grmljavinske nepogode su intenzivnije, a kumulonimbusi imaju znatne dimenzije. Prema brzini premeštanja delimo hladne frontove na spore i brze. Za razliku od termičkih grmljavinskih nepogoda ove se javljaju u toku čitave godine i ne zavise od dnevne i godišnje promene temperature vazduha. Zahvataju istovremeno šire područje i znatno su brži pri premeštanju.



Sl.4.3. Kumulonimbusi na hladnom frontu

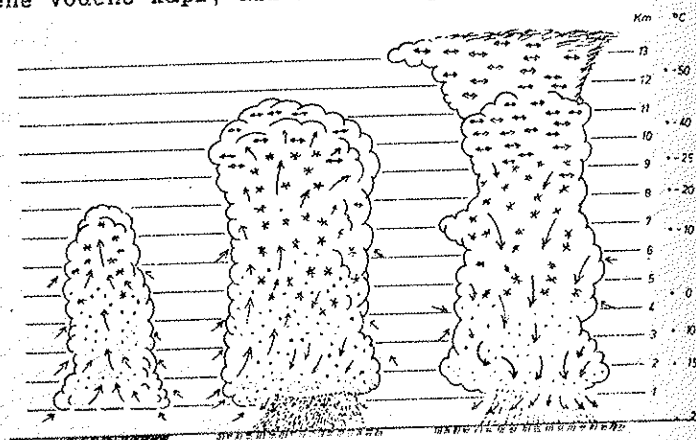
U našim krajevima frontalne nepogode su znatno češće nego nefrontalne. Od ukupnog broja javljanja grmljavinskih nepogoda preko 70% su pri frontovima.

Grmljavinske nepogode mogu nastati i na toplom frontu (sl.4.4), usled nestabilnosti u toplom vazduhu toplog fronta koji je obično tropskog porekla. Nestabilnost se pojačava to-



Sl.4.4. Kumulonimbusi na toplom frontu

U razvojnom stadijumu konvekcija preovladjuje kroz celu ćeliju. Vrh ćelije je na visini oko 4500 m iznad zemljine površine, mada može biti i viši. Temperatura u osnovi ćelije je oko 0° ali iznad nje. Preovladjuju vodene kapi, ali se ove, kao prehladjene mogu naći i na visini na kojoj je temperatura ispod -15°C. U sledećem, višem području nalazimo, takodje, prehladjene vodene kapi, ali i snežne pahuljice (sl.4.6. a).



Sl.4.6. Razvojni stadijumi kumulonimbusa:
a) početni ili kumulusni, b) kišni,
i c) raspadanje.

U donjem delu kumulusnog oblaka, usled medjusobnih sudara i slepljivanja, nastaje rast vodenih kapi. U višim delovima vodene kapi su okružene snežnim pahuljicama, a u sledećem još višem području mogu se opaziti prehladjene kapi okružene ledenim iglicama. Postepenim stapanjem ovih hidrometeora nastaju zrna grada. Čitav ovaj proces od rasta vodenih kapi do nastanka grada trajaće sve dok njihova koncentracija ne savlada uzlazna strujanja. Dolaskom padavina koje su posledica pomenutog procesa, konvektivno strujanje u ćeliji prelazi u vazdušno strujanje usmereno nadole, prema zemlji. Ove pojave karakteristične su za ulazak ćelije u stadijum zrelosti ili kišni (sl.4.6.b).

Kada kišne kapi padnu na zemljinu površinu u strukturi ćelije nastaje potpun preokret. U oblastima u kojima su prethodno preovladjivala uzlazna strujanja dolazi do snažnog

silaznog strujanja. Intenzitet silaznog strujanja i po brzini i po dimenzijama opada sa visinom. U najvišoj trećini ćelije koja je katkad na visini 9 km silazno strujanje potpuno prestaje, ali se nastavlja slabije uzlazno strujanje.

Silazno strujanje nastaja zbog kiše, jer njene kapi pri padu povlače za sobom i istovremeno guraju naniže vazdušne čestice. Kako ćelija "stari" silazno strujanje se probija sve bliže prema osnovi ćelije. Ono ne prolazi sa vrha, pošto na ovoj visini nema dovoljno vodenih kapi koje bi izazvale veću količinu kiše, već na visini na kojoj je ćelija "bogata" vodenim kapima. U ovom stadijumu brzina silaznog strujanja vrlo je promenljiva od 0.6 do 12 m/s. Ćelija, tada često menja svoj oblik od kružnog do kruškolikog, sa konvektivnim strujanjima na širem i silaznim na užem kraju.

U periodu vremena u kome silazno strujanje savlada potpuno konvekciju u donjem delu oblaka, ćelija prelazi u stadijum raspadanja (sl.4.6 c). U ovom stadijumu silazna komponenta strujanja preovladjuje kroz celu ćeliju. Čak i na visini preko 8 km javlja se slabo silazno strujanje. Iznad ovog područja postoji još veoma slaba konvekcija. Dotadašnji kruškolik oblik ćelje se menja, pa ukoliko silazna komponenta strujanja još više oslabi, a konvekcija pojača, ćelija postepeno može ponovo imati kružni oblik.

Postoje mnoge teorije o naelektrisanju kumulonimbusa. Teorija se može prihvatiti ukoliko odgovori na osnovno pitanje: kako nastaje naelektrisanje čestica u kumulonimbusu, i kako dolazi do njihovog razdvajanja? osim toga, teorija mora biti u skladu sa prethodno izloženom meteorološkom strukturom kumulonimbusa i električnim pojavama kod grmljavinske nepogode.

Mejson (Mason, 1973.) u objašnjenju električne strukture kumulonimbusa polazi od Vilsonove teorije (1929.) o nastanku naelektrisanja u mladom kumulusu, koja se zasniva na pretpostavci da u ovom obliku, koji se tek razvija, već postoje joni, električno polje i kapljice različitih dimenzija.

Atmosfera je uvek jonizovana, joni se u konvektivnim oblacima mogu spajati sa vodenim kapljicama i ledenim kristalima te tada ovi postaju nosioci naelektrisanja. Usled jake

konvekcije, ovi nosioci naelektrisanja se nagomilavaju u raznim delovima oblaka. Ukoliko se obrazuju dva prostorna raznoimena naelektrisanja, stvoreno električno polje ubrzaće kretanje jona. U toku ubrzanja mnogi joni se spajaju sa molekulima vazduha stvarajući nove jone. Proces ako se nastavi dovodi do lančanog efekta jonizacije. Pozitivni joni su teži od negativnih, ali su slabo pokretljivi. Medjutim, prostorno naelektrisanje nastaje zbog jonizacije negativnih molekula vazduha usled brzih negativnih jona.

Posmatrajmo padanje kapi u jednom kumulusu koji je u razvoju. Početkom padanja velike kapi su neutralne, ali dalje na ovom putu kroz konvektivnu struju se polarizuju tako, da se pozitivno naelektrisanje koncentriše na strani kapi okrenutoj prema negativnoj strani polja, a negativno naelektrisanje prema pozitivnoj strani polja.

Prednja površina kapi, koja pada prema zemlji u suprotnom pravcu od konvekcije, usled influencije naelektriše se pozitivno, a zadnja negativno. Pozitivni joni, koji se nalaze iza kapi biće privučeni od negativno naelektrisane zadnje površine kapi, ali zbog svoje vrlo slabe pokretljivosti, ne mogu je dostići. Medjutim, pozitivni joni koji se nalaze ispred kapi, odbijaju se od pozitivno naelektrisane prednje površine kapi. Prema tome, sudar polarizovane kapi, koja pada u kumulonimbusu prema zemlji i u smeru električnog polja, sa negativnim jonom znatno je pogodniji, nego pozitivnim. Zbog toga se vodene kapi, koje padaju, naelektrišu negativno. Količina negativnog elektriciteta neće preći vrednosti koje su već odredjene veličinom kapi i njenom dielektričnom konstantom.

U električnom polju koje je usmereno od vrha kumulonimbusa prema zemlji sve krupne kapi koje stižu u donji deo oblaka biće naelektrisane negativno. Usled ovoga u donjem, najnižem delu oblaka povećava se pozitivno naelektrisanje hidrometeora. Čitav ovaj proces padanja kapi prema osnovici kumulonimbusa pojačava postojeće električno polje.

Merenja električnog polja izvan i unutar kumulonimbusa, i istovremeno na zemljinoj površini (Simpson i Robinson,1941) omogućila su B.Mejsnu (1973) da izradi model o ras-

podeli prostornog naelektrisanja u kumulonimbusu. Prema ovom modelu u osnovici kumulonimbusa ili u njegovoj blizini mogu postojati istovremeno više ili jedno lokalizovano prostorno pozitivno naelektrisanje u obliku lopte koja ima poluprečnik oko 1 km. Količina pozitivnog elektriciteta u kulonima (C) iznosi 4 C. Centar naelektrisanja je na visini oko 1.5 km od zemljine površine, u području koje ima temperaturu oko 1.5°C.

Iznad ovog područja nalazi se prostorno negativno naelektrisanje, takodje u obliku lopte, koja ima poluprečnik oko 1 km, a centar je na visini 3 km iznad zemljine površine. Temperatura u ovom području je oko -20°C.

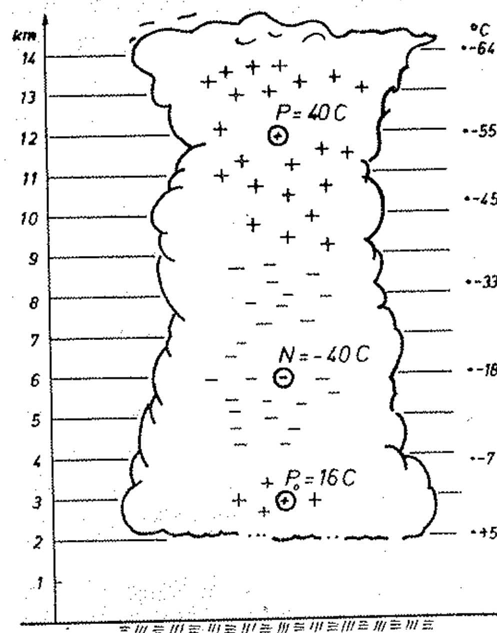
U gornjim delovima kumulonimbusa nalazi se prostorno pozitivno naelektrisanje u obliku lopte koja ima poluprečnik oko 2 km, a centar je na visini 6 km iznad zemljine površine. Količina pozitivnog elektriciteta je 24 C. Temperatura u ovom podfučju iznosi oko -30°C.

Na osnovu višegodišnjih merenja i ispitivanja električnog polja u kumulonimbusu D.J.Malan (D.J.Malan,1963) daje svoj model o vertikalnoj raspodeli prostornog naelektrisanja (sl.4.7.). Prema ovome, u najvišim delovima kumulonimbusa od 9 do 14 km iznad zemljine površine je prostorno pozitivno naelektrisanje (P) u obliku lopte čiji je centar na visini oko 12 km, a temperatura u ovom području oko -50°C. Količina pozitivnog elektriciteta je 40 C.

Ista količina, ali negativnog elektriciteta (N) je u području koje je na visini oko 5 do 6 km iznad zemljine površine, a temperatura -15°C.

U donjem delu kumulonimbusa je lokalizovano prostorno pozitivno naelektrisanje (P_0) koje se nalazi približno na visini 3 km od zemljine površine. Količina ovog pozitivnog elektriciteta je 16C.

Ispitujući Malanov model Kazemir (1965) je uočio zanemarivanje uticaja prostornog naelektrisanja, pa je pretpostavio da u kumulonimbusu mora postojati prostorno pozitivno naelektrisanje od 60 C koje se nalazi u višim delovima, a ispod ovoga je relativno negativno naelektrisanje od -340 C; u osnovici oblaka je lokalizovano pozitivno naelektrisanje od 50 C.



Sl.4.7. Vertikalna raspodela elektriciteta u kumulonimbusu, prema Malanu (1963)

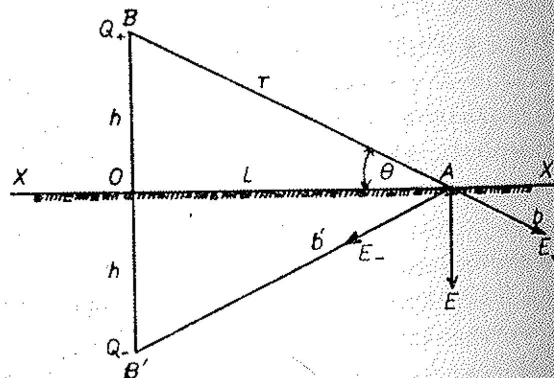
Intenzitet električnog polja (E) na nekom rastojanju (r) od pozitivnog tačkastog naelektrisanja u vazduhu ili vakumu iznosi

$$E = \frac{Q\vec{a}_r}{4\pi\varepsilon_0 r^2}, \; V/m \quad (4.1)$$

$\vec{a}_r$-jedinični vektor upravljen od pozitivnog naelektrisanja duž (r); ε_0 je električna provodljivost. U SI sistemu jedinica $1/4\pi\varepsilon_0 \approx 9.10^9$, F/m. Za negativno naelektrisanje jednačina (4.1) menja znak.

Za izračunavanje električnog polja na zemljinoj površini nastalog usled naelektrisanja u kumulonimbusu koristi se sledeći model (sl.4.8).

Posmatrajmo pozitivno tačkasto naelektrisanje (Q) koje se nalazi u tački B iznad ravne i provodljive zemljine



Sl.4.8. Model za izračunavanje električnog polja kumulonimbusa na zemljinoj površini

površine (XX i na visini (h). Uticaj naelektrisanja prenetog

na provodnu ravan može se posmatrati pod uslovom da se zanemari zemljina površina, a sa druge strane obrazuje lik negativnog tačkastog naelektrisanja (Q) na istoj visini ispod ravni u tački B'. Veličina električnog polja u tački A, pod uticajem tačastog naelektrisanja, brojno je jednaka Q/r i predstavljena je vektorom Ab. Medjutim, pod uticajem negativnog tačkastog naelektrisanja brojno je jednaka -Q/r i predstavljena je vektorom Ab'.

Vektori električnog polja, koji rezultuju iz svakog naelektrisanja, upravljeni su u različitim pravcaima. Ukupno električno polje se dobija sabiranjem ovih vektora. Oba električna polja mogu biti razložena na komponente koje su paralelne ravni i komponente koje su normalne na ravan. Paralelne komponente su jednake po veličini ali suprotne po pravcu, pa je njihov zbir jednak nuli. Prema tome, nema horizontalnog električnog polja na ravni. (Električno polje na provodljivoj površini je uvek normalno na ovu površinu). Normalna komponenta električnog polja jednog ili drugog tačkastog naelektrisanja se dobija množenjem ukupnog polja izrazom:

$$\sin\theta = \frac{h}{r} = \frac{h}{(h^2 + L^2)^{1/2}}$$

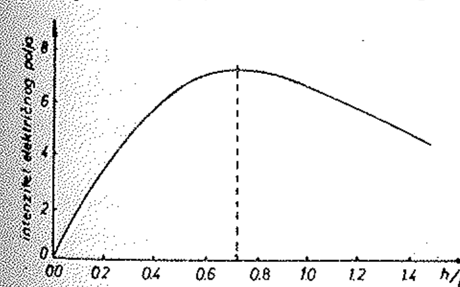
tako, da veličina ukupnog električnog polja iznosi:

$$E = \frac{2Qh}{4\pi\varepsilon_0 (h^2 + L^2)^{3/2}} \quad (4.2)$$

Polje je normalno na ravan i pozitivno.

Ako je L znatno veće nego h jed. (4.2) može se aproksimirati, pa imamo: $E = \dfrac{M}{4\pi\varepsilon_0 L^3}$ (4.3.)

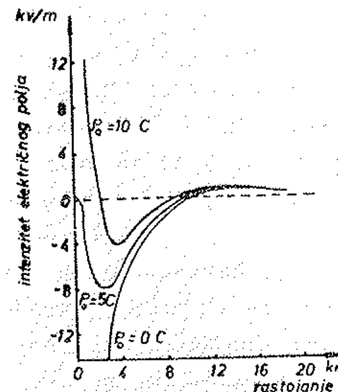
gde je M=2 Qh, električni dipolni moment.



Sl.4.9. Intenzitet električnog polja

Na sl.4.9 prikazan je intenzitet električnog polja za tačkasto naelektrisanje prema sl.4.8. Da bi se dobila veličina električnog polja u voltima po metru potrebno je očitane vrednosti na dijagramu za Q pomnožiti izrazom ($10^9/L^3$).

Koristeći se jed.4.1 može se izračunati i intenzitet električnog polja na zemljinoj površini za prostorna naelektrisanja kod Malanovog modela (sl.4.7.). Na sl.4.10 prikazana je raspodela intenziteta električnog polja na zemljinoj površini za vrednost prostornog anelektrisanja P=40 C na visini 10 km i N= -40 C na visini 2 km od zemljine površine.



Sl.4.10. Promene intenziteta električnog polja sa rastojanjem

Za intenzitete električnog polja na sl.4.10. može se dati sledeći analitički izraz:

$$E = 1.8 \times 10^{10} \left[\frac{2 \times 10^3 P_o}{(4 \times 10^6 + L^2)^{3/2}} - \frac{2 \times 10^5}{(2.5 \times 10^7 + L^2)^{3/2}} + \frac{4 \times 10^5}{(10^8 + L^2)^{3/2}} \right], V/m \quad (4.4)$$

P_o je lokalizovano pozitivno naelektrisanje u osnovi kumulonimbusa.

Pri vedrom i tihom vremenu, bez vetra, kada je atmosferski vazduh najčešće vrlo suv, njegova tzv. "električna probojna čvrstoća" iznosi oko 30.000 V/cm. Medjutim, u kumulonimbusu usled jakih električnih polja vodene kapi se deformišu, pa probojni napon znatno opadne čak ispod 7000 V/cm.

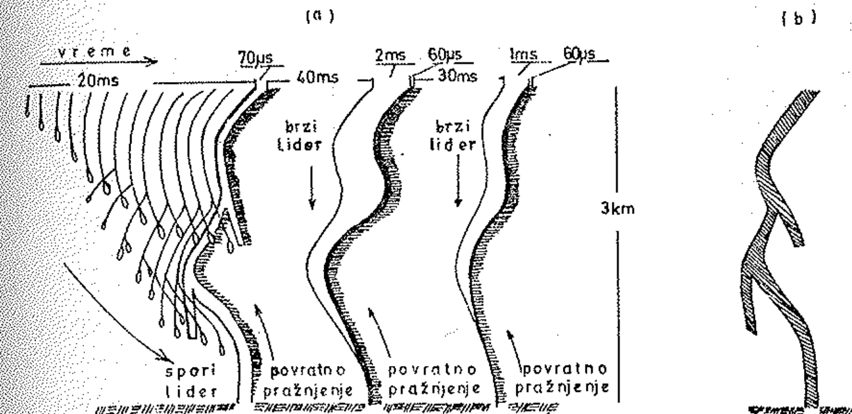
Prema ispitivanjima Gana (Gunn,1948) srednje vrednosti maksimalnih napona polja iznose oko 1300 V/cm, a kod vrlo jakih polja, izmerenih pred samo pražnjenje, vrednosti iznose oko 3400 V/cm. Ova jaka električna polja omogućuju nastanak atmosferskog električnog pražnjenja. Srednja jačina polja u prostoru od 1 km ne prelazi vrednosti od nekoliko stotina volti po santimetru, ali u uslovima u kojima se obrazuju naelektrisanja razlike potencijala izmedju negativnog i pozitivnog polja iznose nekoliko stotina miliona volti.

Analizom fotografskih snimaka dobijenih specijalnim filmskim kamerama, proučava se mehanizam atmosferskog električnog pražnjenja. Pomoću snimaka se utvrdjuje svetlosni put pražnjenja, koji deo po deo napreduje prema zemlji. Pojačana

svetlost na prednjem delu pražnjenja ukazuje na tek jonizovani vazduh. Pojava napreduje prema zemlji velikom brzinom oko 100 km/s. Put je izlomljen i razgranat nadole. Kad snop svetlosti dostigne zemljinu površinu, istog momenta kroz već jonizovani kanal započinje pražnjenja nagore. Svetlost ovog pražnjenja je mnogo jača nego pražnjenja prema zemlji. Brzina povratnog pražnjenja je vrlo velika, iznosi oko 1000 km/s.

Pražnjenje prema zemlji započinje strimerom, koji se prostire prema zemlji postepeno u vidu kraćih ili dužih koraka, od 10 do 200 m. Koraci se javljaju u razmaku od 30 do 100 mikrosekundi. Na kraju strimera je pojačana svetlost jonizujućeg vazduha. Spori lider se prostire brzinom od 4 x 10^6 cm/s. Ova brzina je odredjena prema fotosnimcima; medjutim, prema promeni električnog polja njegove brzine iznose 6x10^6 cm/s.

Na sl. 4.11. prikazan je put svetlosti sniman specijalnom kamerom sa brzorotirajućim filmom (a) i kamerom sa stacionarnim filmom (b).



Sl.4.11. Svetlosni trag pražnjenja snimljen specijalnom kamerom sa pokretnim filmom (a) i kamerom sa stacionarnim filmom (b)

Količina elektriciteta, koja iznosi oko 5 kulona, raspoređuje se po čitavoj dužini sporog lidera. Ovu količinu spori lider prenosi u desetom delu mikrosekunde. Pri ovom prenosu jačina struje iznosi 100 ampera. Naelektrisanje se u sporom lideru prostire kroz uzano provodljivo jezgro koje se na-

lazi u centru lidera. Oko jezgra je snop svetlosti nastao usled koroñe. Javljaju se dve vrste sporog lidera "α" i "β". Spori lider α se ravnomerno prostire prema zemlji; spori lider β u početku ima veći i svetliji korak, a zatim ga smanjuje, pa time i efektivnu brzinu prostiranja.

Kada spori lider svojim najnižim delom dostigne veliki negativni potencijal u neposrednoj blizini zemljine površine, rezultujuće električno polje dovoljo je jako da obrazuje glavno ili povratno pražnjenje usmereno nagore, od zemljine površine prema kumulonimbusu. Snažno spajanje naelektrisanja sa zemljinim potencijalom slično je pojavi "kratkog spoja" kod dalekovoda. Kanal lidera dejstvuje kao dalekovod (nelinearno i opadajući), praćen vrlo jakom svetološću površinskog udara. Jonizujući talasni front velikog intenziteta nosi potencijal zemljine površine do osnovice oblaka za 70 mikrosekundi. Prostor od talasnog fronta povratnog pražnjenja do zemljine površine je vrlo provodljiv. Jačina struje u njemu, pri zemljinoj površini naglo poraste do 10 ili 20 kA u vremenu od nekoliko mikrosekundi. Struja jačine od stotinu miliampera može teći neprekidno nekoliko milisekundi.

Posle pauze od stotih delova sekunde javlja se brzi lider, a zatim ponovo povratno pražnjenje. Brzi lider sastoji se iz strimera koji se ne granaju kao kod sporog lidera, već prostiru od oblaka prema zemlji "glatko" brzinom od oko 2×10^6 m/s.

Razlika izmedju sporog lidera za prva pražnjenja i brzih lidera za naredna je u tome, što se spori lider probija kroz tek malo jonizovani vazduh, dok ostala naredna pražnjenja imaju potpuno jonizovane puteve. Stvarna brzina sporog lidera je u stvari brzina procesa jonizacije.

Atmosfersko električno pražnjenje, munja ili grom je višestruko sa 3 do 4, a vrlo često i 10-12 pražnjenja. Beležena su i višestruka pražnjenja sa preko 40 pražnjenja. Vreme izmedju pražnjenja kod višestrukih pražnjenja je oko 0.07 s, a čitavo pražnjenja oblak-zemlja oko 0.25 s. Mnoga pražnjenja se dešavaju u samom kumulonimbusu, a pojedina pražnjenja izmedju osnovice kumulonimbusa i zemlje i ne dospeju do zemljine

površine već se završavaju na delu puta prema zemlji. Pražnjenja izmedju pojedinih područja u kumulonimbusu nastaju najčešće kod onih, koji imaju visoke osnovice iznad zemljine površine. Ovakva pražnjenja nemaju karakterističan zvuk-grmljavinu, već se samo opaža sevanje.

Ispitivanja su pokazala da se oko 74% energije pražnjenja utroši na zagrevanje kanala. U vrlo kratkom vremenskom intervalu (10^{-7} s) temperatura u kanalu poraste do 15000° C pa se usled naglog širenja vazduha čuje poznati zvuk.

U tablici 4.1 daju se podaci o sporom i brzom lideru i o povratnom pražnjenju, a prema Jumenu (Uman, 1969.).

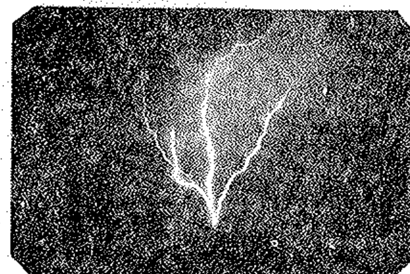
Tablica 4.1

Karakteristike pražnjenja

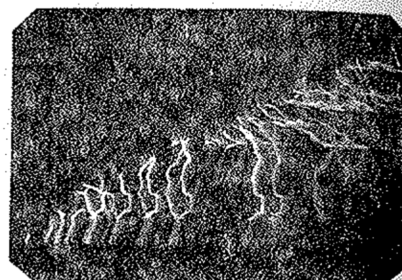
	minimum	srednja vrednost	maksimum
1. Spori lider			
-dužina koraka (m)	3	50	200
-vreme izmedju koraka (µ/s)	30	50	125
-prosečna brzina prostiranja koraka, (m/s)	1.0×10^5	1.5×10^5	2.6×10^6
-količina naelektrisanja u kanalu sporog lidera (coul)	3	5	20
2. Brzi lider			
-brzina prostiranja (m/s)	1.0×10^6	2.0×10^6	2.1×10^7
-količina naelektrisanja u kanalu brzog lidera (coul)	0.2	1	6
3. Povratno pražnjenje			
-brzina prostiranja (m/s)	2.0×10^7	5×10^7	1.4×10^8
-porast jake struje (Ka/µs)	1	10	80
-vreme vršne struje (s)	1	2	30
-jačina vršne struje (Ka)		10-20	110
-dužina kanala (km)	2	5	14

Ispitivanjem atmosferskih električnih pražnjenja, na tada najvišoj zgradi u Njujorku (Empajer stejt bildingu) i na opservatoriji na Monte San Salvatore u Švajcarskoj, zapaženo je da postoje brojna pražnjenja koja započinju od zemljine površine prema kumulonimbusu. Pojava sporog lidera upravljenog nagore, prema oblaku, utvrdjena je kod pražnjenja koja nastaju u planinskim krajevima ili na vrlo visokim gradjevinskim objektima

i konstrukcijama. K.Berger (K,Berger, 1973) je posle višegodišnjih ispitivanja utvrdio da se u planinskim područjima javlja znatno veći broj uzlaznih atmosferskih električnih pražnjenja nego silaznih. Na sl.4.12 prikazano je uzlazno pražnjenja (a) i spori lider ovog pražnjenja (b).



(a)



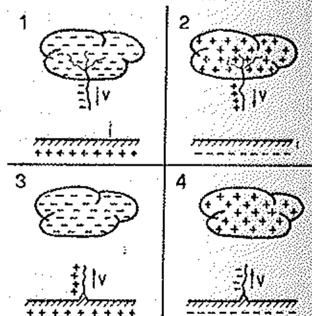
(b)

Sl.4.12. Uzlazno pražnjenja (a) i spori lider ovog pražnjenja (b), (K.Berger,1973)

Prema smeru sporog lidera i polaritetu struje pražnjenja izdvojene su četiri karakteristične vrste pražnjenja (sl.4.13).

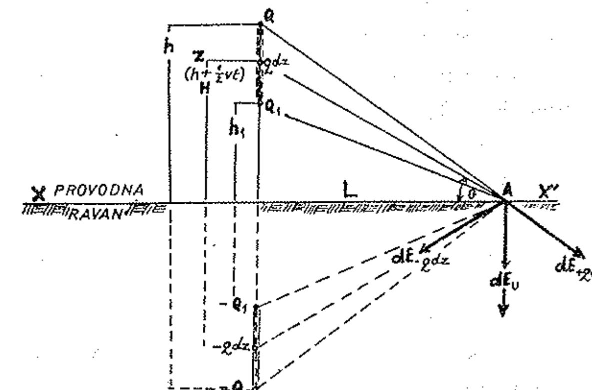
4.3.1 Promene električnog polja pri pražnjeju

Model o raspodeli prostornog naelektrisanja u kumulonimbusu najčešće se koristi za izračunavanje električnog polja i promene električnog polja na zemljinoj površini.



Sl.4.13. Karakteristične vrste atmosferskih električnih pražnjenja

Posmatrajmo pozitivno linijsko naelektrisanje koje ima dužinu $h-h_1$; naelektrisanje za jedinicu dužine q upravljana je vertikalno iznad provodljive ravni (sl.4.14). Razmotrićemo električno polje na rastojanju L nastalo usled linijskog naelektrisanja i naelektrisanja njegovog imaginarnog lika. Električno polje nastalo usled elementarnog naelektrisanja (qdz) koje se nalazi unutar linijskog naelektrisanja identično je električnom polju nastalom usled tačkastog naelektrisanja. Prema tome, veli-



Sl.4.14. Model za izračunavanje intenziteta električnog polja na rastojanju (L) usled vertikalnog linijskog naelektrisanja dužine $(h-h_1)$ i pozitivnog naelektrisanja jedinice dužine (q) koje se nalazi iznad provodljive ravni

činu polja usled naelektrisanja koja se nalazi unutar dz možemo prikazati jednačinom:

$$dE_{+qdz} = \frac{q\,dz}{4\pi\varepsilon_0 (z^2+L^2)} \quad (4.5)$$

Ukupno polje (dE_u) usled elementarnog naelektrisanja i naelektrisanja njegovog lika:

$$dE_U = \frac{2qz\,dz}{4\pi\varepsilon_0 (z^2+L^2)^{3/2}} \quad (4.6)$$

Polje je upravno na ravan i pozitivno. Integraljenjem jed. (4.6) dobijamo polje koje nastaje usled naelektrisanja u čitavoj liniji od $z=h_1$ do $z = h$:

$$dE_U = \frac{2q}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{1}{(L^2+h_1^2)^{1/2}} - \frac{1}{(L^2+h^2)^{1/2}}\right] \quad (4.7)$$

q je konstanto. Ukoliko je linijsko naelektrisanje negativno polje na zemljinoj površini biće negativno, a jed. (4.7) dobija negativan znak ispred desne strane jednačine.

Ukoliko se pozitivno naelektrisani lider prostire od pozitivnog prostornog (zapreminskog) naelektrisanja, tada povećanje naelektrisanja po čitavoj dužini lidera uticaće na

smanjenje izvora zapreminskog naelektrisanja. Neka je dužina lidera l, visina izvora naelektrisanja H, ako se izvor naelektrisanja posmatra kao tačkasta ili sferično-simetrična raspodela, tada će se polje na zemljinoj površini promeniti usled smanjenja izvora naelektrisanja prema jednačini:

$$\Delta E_s = -\frac{2qlH}{4\pi\varepsilon_o(H^2+L^2)^{3/2}} \quad (4.8)$$

ql-je količina naelektrisanja koju je izgubilo izvorno zapreminsko naelektrisanje. Električno polje izvora postaje sve manje pozitivno zbog prenosa pozitivnog naelektrisanja, a desna strana jed. 4.8 ima negativan znak. Ukoliko su izvorno naelektrisanje i naelektrisanje lidera bili negativni, promena polja zbog smanjenja početnog naelektrisanja može biti pozitivna.

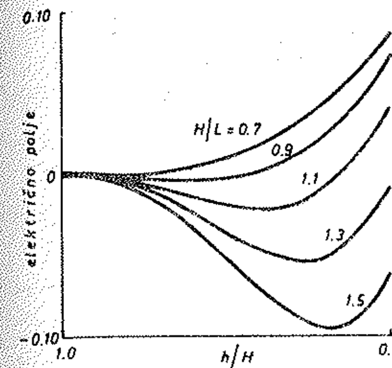
Jumen (Uman, 1969) detaljno razmatra negativno naelektrisani lider koji se prostire nadole, od simetrično-sferičnog i negativnog zapreminskog naelektrisanja. To je aproksimirani slučaj brzog lidera i ponekad prostiranje sporog lidera. Gornji deo lidera se nalazi na visini H, a u centru početnog naelektrisanja. Tada u jed. (4.7) umesto h beležimo H.

Razmotrimo slučaj kada je $l=H-h_1$. Promena ukupnog polja (ΔE) zbog prostiranja lidera i smanjenja početnog izvornog naelektrisanja iznosi:

$$\Delta E = -\frac{2q}{4\pi\varepsilon_o L}\left[\frac{1}{(1+h_1^2/L^2)^{1/2}} - \frac{1}{(1+H^2/L^2)^{1/2}} - \frac{H-h_1}{L}\,\frac{H}{L}\,\frac{1}{(1+H^2/L^2)^{3/2}}\right] \quad (4.9)$$

$h_1=H$ u vremenu početka lidera (t=0). Kako vreme raste h_1 opada sve do vremena u kome lider dostiže zemljinu površinu, pa je $h_1=0$. Promena polja u saglasnosti sa jed. 4.9 za nekoliko slučajeva odnosa H/L prikazana je na sl.4.15. Ako se lider kreće konstantnom brzinom (v) promenljivu visinu h_1 možemo zameniti izrazom H- vt. jer dužina lidera iznosi $l=vt$. Kako je $H=h_1-l$ znatno manje od L tada se u jed. (4.9) mogu zanemariti svi odnosi veći od $(H/L)^2$, pa za promenu polja dobijamo:

$$\Delta E \cong \frac{ql^2}{4\pi\varepsilon_o L^3} = \frac{qv^2t^2}{4\pi\varepsilon_o L^3} \quad (4.10)$$

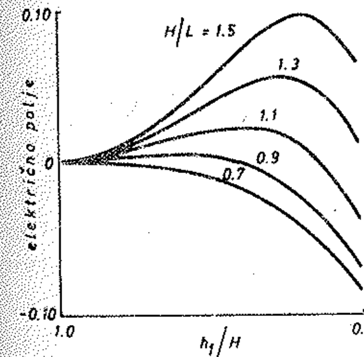


Sl.4.15. Promena električnog polja

Promenu električnog polja možemo, takodje, posmatrati pri prostiranju pozitivno naelektrisanog lidera nadole, prema zemljinoj površini. Pozitivni lider se može prostirati nadole do područja P prema N, kada imamo pražnjenja u oblaku, ili od područja P_o prema zemljinoj površini kada imamo pozitivno pražnjenje izmedju oblaka i zemljine površine. U ovim slučajevima polje se menja prema jed. (4.9), ali sa izmenjenim znakom.

$$\Delta E = +\frac{2q}{4\pi\varepsilon_o L}\left[\frac{1}{(1+h_1^2/L^2)^{1/2}} - \frac{1}{(1+H^2/L^2)^{1/2}} - \frac{H-h_1}{L}\,\frac{H}{L}\,\frac{1}{(1+H^2/L^2)^{3/2}}\right] \quad (4.11)$$

Na sl.4.16. prikazan je nomogram za nalaženje odnosa H/L, a koji je sastavljen prema jed. 4.11.

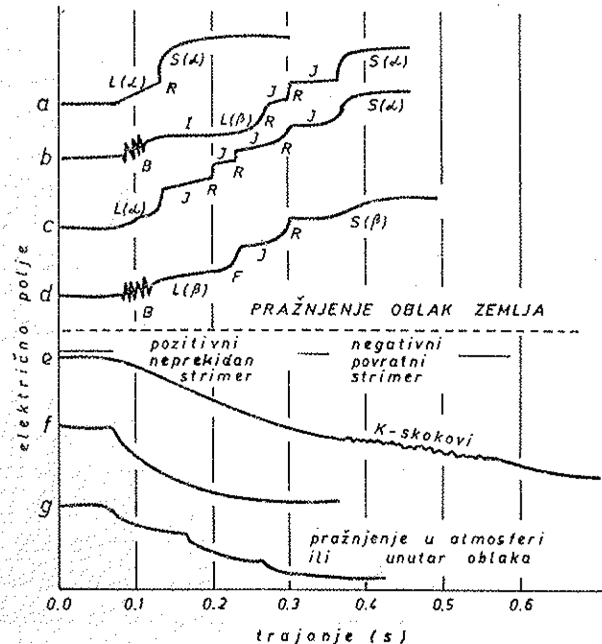


Sl.4.16. Promena električnog polja

Promene polja, usled prostiranja negativnog lidera od negativno naelektrisanog područja pa nagore, javljaju se kod pražnjenja N područja prema P (sl.4.7), a promene polja usled prostiranja pozitivnog lidera nagore javljaju se kod pražnjenja izmedju područja P_o i N, ili izmedju područja P i jonosfere.

Promene pozitivno naelektrisanog polja nastale usled pražnjenja koje se sastoji od jednog udara usmerenog prema zemljinoj površini, prikazane su na sl.4.17, pod (a). Promena polja u početku je vrlo spora, deo (L) koji traje oko 0.1 s, a zatim

dolazi do naglog skoka polja, deo (R), koji traje manje od 1 m/s, i na kraju polje se ponovo menja vrlo sporo, u trajanju oko 0.1 s. Oznake u zagradama se odnose na α i β tipove lidera.



Sl.4.17. Promene električnog polja usled pražnjenja (Mason, 1971.)

Spora promena negativnog polja, bez vidljivog skoka (R) prikazana je na ovoj slici pod tač.(e) do (g). Pod tač.(a) i (c) prikazana je promena polja pri α tipu lidera, koja neprekidno raste sve do skoka (R). Promena polja, pri β tipu lidera, tač. (b) i (d), u početku raste i naglo se menja (deo B), a zatim u sredini ima stabilniji deo praćen daljim rastom polja sve do skoka (R).

Brojne registracije promene gradijenta potencijala električnog polja usled pražnjenja ukazuju da postoje tri različite komponente polja. Naime, vertikalno električno polje $E(t)$ na zemljinoj površini u svakom trenutku vremena se može dati sledećom jednačinom:

$$E(t) = \frac{M}{L^3} + \frac{1}{CL^2}\frac{dM}{dt} + \frac{1}{C^2L}\frac{d^2M}{dt^2} \qquad (4.12)$$

Ovde je količina naelektrisanja izmerena u elektrostatičkom sistemu jedinica, a rastojanje od pražnjenja do mesta merenja (L) u cm, električni moment oblaka M=2QH; C je brzina svetlosti, cm/s.

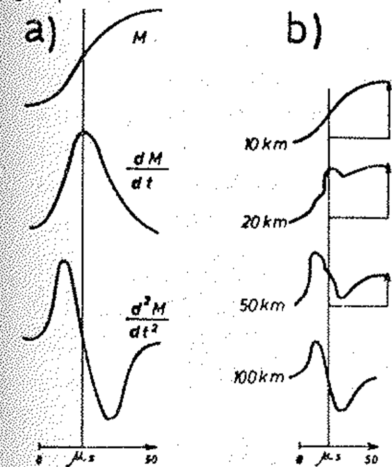
Elektrostatička komponenta: M/L^3 upravo je proporcionalna električnom momentu pražnjenja i menja se prema $1/L^3$.

Izraz za elektromagnetnu indukciju: $\frac{1}{CL^2}\frac{dM}{dt}$ zavisi od struje pražnjenja i menja se kao $1/L^2$.

Izraz za elektromagnetno zračenje: $\frac{1}{C^2L}\frac{d^2M}{dt^2}$ zavisi od ubrzanja naelektrisanja, i menja se kao 1/L.

Prema jed.4.12 električno polje preovladjuje pri bliskim pražnjenjima, a polje zračenja preovladjuje kod pražnjenja koja se dešavaju na velikim daljinama.

Na sl.4.18. su krive koje prikazuju raspodele komponenti vertikalnog električnog polja (a) i odnose intenziteta polja i rastojanja (b), nastale usled pražnjenja u trajanju od 50 μs.



Sl.4.18. Promena komponenti električnog polja (a) i odnos polja i rastojanja (b)

S obzirom da se u nas koriste brojači koji registruju atmosferska električna pražnjenja na velike daljine (na osnovu prijema impulsa elektromagnetne komponente zračenja tzv."atmosferika"), i brojači koji registruju bliska pražnjenja prijemom elektrostatičke komponente, potrebno je prethodno upoznati rasprostiranje atmosferika i njihov prijem pomoću amoradiografa, a zatim, i detekciju elektrostatičke komponente brojačima koji se nalaze u mreži meteoroloških stanica.

Tehnička meteorologija koristi podatke o atmosfericima radi utvrdjivanja nivoa atmosferskih radiosmetnji i njihovu raspodelu po vremenu, što je veoma značajno za potrebe radio-veze, kao i za izradu karata o vremenskoj raspodeli njihovih izvora-grm-

ljavinskih nepogoda, što je takodje značajno za potrebe elektroprivrede, gradjevinarstvu i dr. grana tehnike.

Budući da su uslovi rasprostiranja elektroenergetskih talasa-atmosferika na velike daljine različiti za različite frekvencije, to će se talasi različitih frekvencija rasprostirati po različitim zakonima. Zbog toga će emitovani atmosferik kada dodje sa velikih rastojanja do brojača (atmoradiografa) biti izobličen.

Od čitavog spektra atmosferika atmoradiograf prima samo uski deo frekvencija koje odgovaraju njihovoj osetljivosti i podešenoj frekvenciji. Kako je njegova podešena frekvencija oko 27 kHz, on prima samo atmosferike koji stižu u prijemnik sa dovoljnom snagom i pod povoljnim uslovima rasprostiranja.

Jačina polja atmosferskih električnih pražnjenja menja se rastojanjem i zavisi od sastava podloge područja preko koga se vrši rasprostiranje. Jačina polja na mestu prijema može se odrediti jednačinom:

$$A = A_o \exp\left(-\frac{KR}{\lambda}\right) \qquad (4.13)$$

ovde je K-konstanta koja zavisi od provodljivosti zemljine površine, λ-talasna dužina, A_o-jačina polja na izvoru, i R-rastojanje u km.

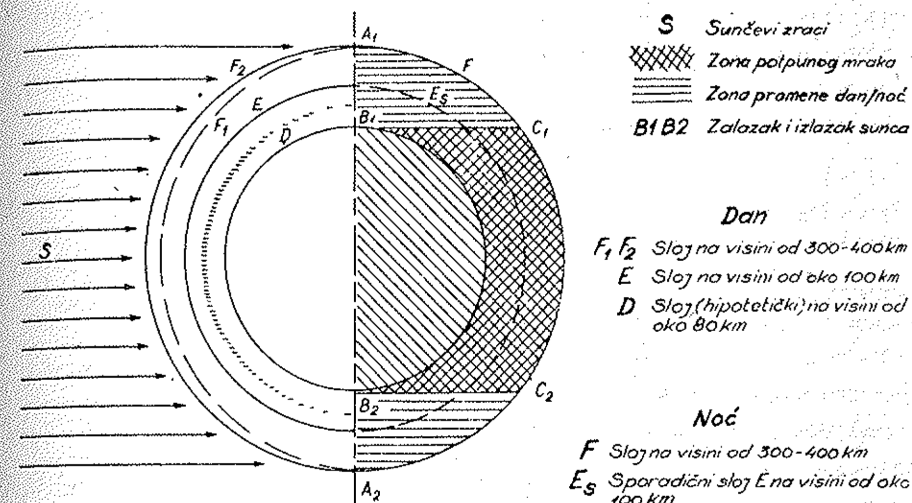
4.3.2. Rasprostiranje atmosferika na velike daljine i njihov prijem atmoradiografom

Kako se u mnogim zemljama, pa i našoj koristi brojač atmosferskih električnih pražnjenja sa velikim poluprečnikom prijema, čak i preko 3000 km, potrebno je prethodno upoznati prostiranje tzv. indirektnih atmosferika na velike daljine.

Prostiranje indirektnih atmosferika na velike daljine postiže se odbijanjem od jonosferskih slojeva (sl.4.19).

Na visini od 200 do 500 km u zavisnosti od godišnjeg doba i doba dana nalazi se sloj - F. Tokom dana, a naročito iznad umerenih širina, ovaj se sloj raslojava u dva sloja, tj. na slojeve F 1 i F 2. Sloj F 2 nastaje danju usled sunčevog zračenja, noću se njegova koncentracija jona smanjuje usled rekombinacije. Zbog vrlo slabog pritiska i relativno retkog suda-

ranja njegovih molekula ova je rekombinacija vrlo spora. U toku noći jonizacija je još dovoljna da se na ovom sloju vrši odbijanje atmosferika bez nekog praktičnog slabljenja.



Sl.4.19. Raspored jonizovanih slojeva oko zemlje

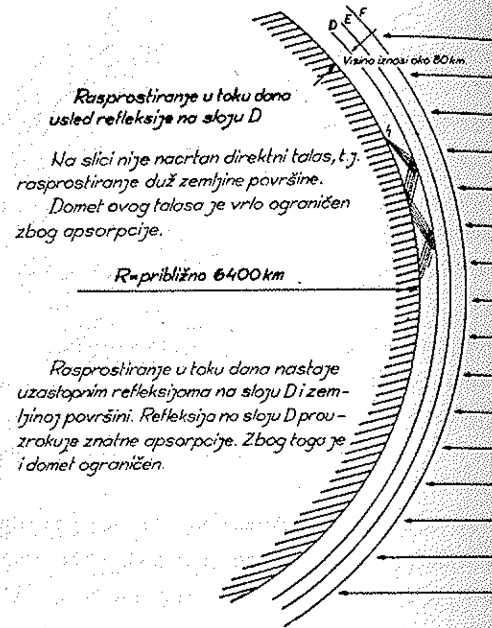
Sloj E takodje se javlja danju, a isčezava po sunčevom zalasku. Često se sloj E može zapaziti i noću pa ga u tom slučaju još nazivamo i sporadični sloj (E). Uzorci koji ga održavaju noću nisu još dovoljno poznati. Ispod E sloja nalazi se hipotetički sloj D, koji nije do sada dokazan direktnim merenjem, ali čije postojanje pretpostavljamo da bi lakše mogli objasniti rasprostiranje dugih i kratkih talasa. Jonizacija sloja D zavisi od jačine sunčevog zračenja. Ovaj sloj nastaje pri sunčevom izlasku a isčezava posle njegovog zalaska.

Slojevi E i F odbijaju elektromagnetne talase, a da ih pri tome praktično ne slabe. Joni i elektroni mogu se kretati pravilinijski na kratkim rastojanjima izmedju dva sudara, a pri svakom sudaru gube jedan deo svoje energije, što ima za posledicu slabljenje odbijenih talasa.

Sloj F i sloj E_s odbijaju atmosferike u toku noći. Oni obezbedjuju vrlo veliki domet od zalaska do izlaska Sunca. Zbog toga se izvori atmosferika u srednjoj i severnoj Americi mogu vrlo dobro registrovati u Evropi pomoću atmoradiografa. Danju se odbijanje vrši od sloja D, ali usled velikog slabljenja domet će biti smanjen na srednja odstojanja. Predpostavlja se

da se odbijanje od sloja D vrši jedan ili dva puta, nakon čega se jačina atmosferika znatno smanjuje, što nije slučaj pri višestrukom odbijanju od sloja F. Zato je i broj atmosferika registrovan noću mnogo veći nego danju. Na sl.4.20. prikazano je rasprostiranje atmosferika u toku dana usled refleksije na sloju D, a na sl.4.21. u toku noći posredstvom sloja F.

U trenutku izlaska ili zalaska Sunca odbijanje atmosferika prenosi se sa jednog sloja na drugi (sl. 4.22. i 4.23). U momentu ovog prelaska ostvarena je velika apsorpcija, poznata pod imenom "dejstvo sunčevog izlaska ili zalaska". Tada broj primljenih atmosferika pada na minimum. Efekat zalaska Sunca nejasan je na dijagramu atmoradiografa. Medjutim, po podacima brojača ovaj efekat je neznatan, s obzirom na efektivni prečnik prijema.



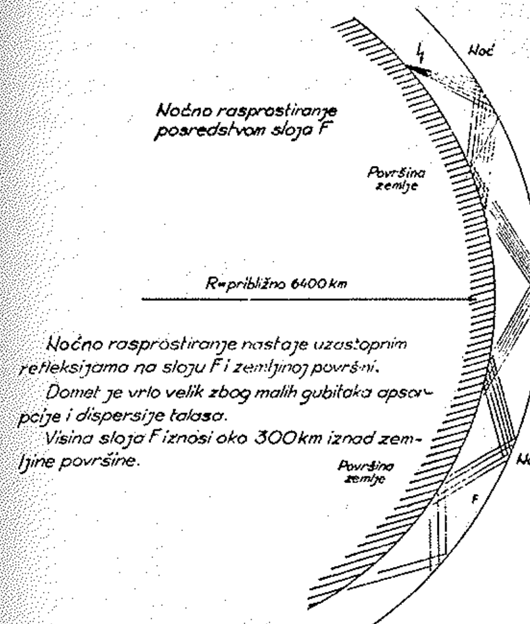
Sl.4.20. Rasprostiranje atmosferika u toku dana

Ukupan broj atmosferika ne daje jasan minimum, jer su različiti izvori izloženi različitim upijanjima u različito vreme.

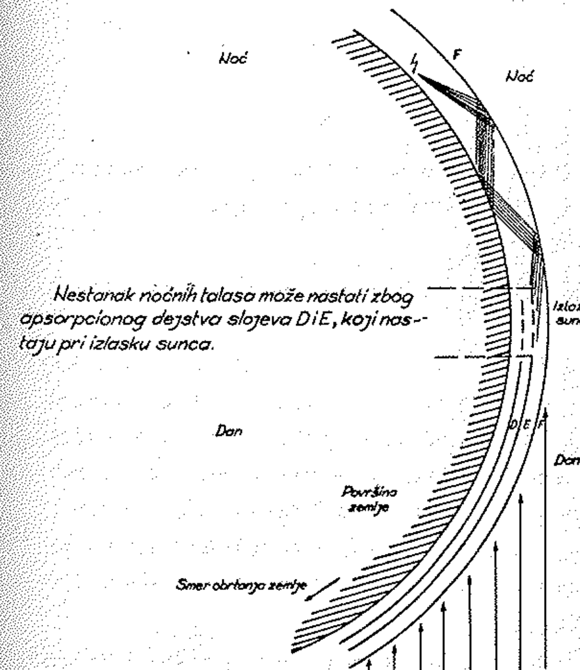
Sve atmosferike u zavisnosti od njihovih fizičkih osobina možemo podeliti na nekoliko grupa:

- atmosferici tople (ekvatorijalne) zone;
- atmosferici frontalnih zona i
- lokalni atmosferici.

Atmosferici tople (ekvatorijalne) zone odlikuju se velikim intenzitetom i pravilnošću dnevnog i ne tako izraženog godišnjeg hoda. Opažaju se sa promenljivom jačinom u čitavoj zoni. Osobito su jaki u periodu tropskih pljuskova i



Sl.4.21. Prostiranje atmosferika noću



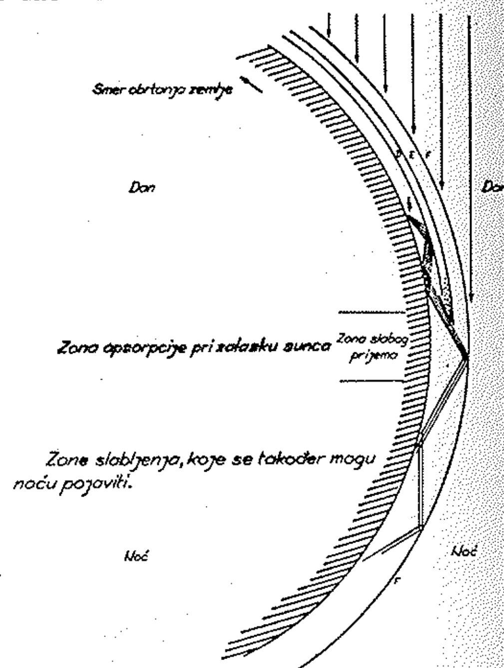
Sl.4.22. Rasprostiranje atmosferika pri izlasku Sunca

i grmljavinskih nepogoda, pojavljujući se približno oko 13 časova. Posledica su jake konvekcije koja je izražena oko podnevnih časova u suptropskim krajevima. Oba hoda su u vezi sa dnevnim i godišnjim položajem Sunca. Najintenzivniji izvori atmosferika javljaju se u onim krajevima gde sunčevi zraci padaju pod velikim uglom u toku čitave godine. Različito zagrevanje zemljine površine (kopna i mora) stvara razlike u jačini izvora atmosferika ekvatorijalne zone.

Atmosferici frontalnih zona povezani su sa pojavama grmljavinskih nepogoda na hladnom frontu, a ponekad se mogu pojaviti i u toplom sektoru ciklona. Atmosferici ove grupe slabijeg su intenziteta nego atmosferici ekvatorijalne zone. Ukoliko se po-

posmatraju duž hladnog fronta, idući od velikih širina prema jugu, intenzitet im se povećava približavajući se intenzitetu atmosferika prve grupe. Pri analizi lako je razlikovati frontalne atmosferike od ekvatorijalnih,jer ovi u pogledu intenziteta nemaju jasno izražen dnevni hod.

Lokalni atmosferici se javljaju u vezi sa posebnim geografskim područjima pogodnim za razvoj konvekcije i lokalnih nepogoda.Karakteristične odlike područja utiču na jačinu i trajanje atmosferika.Takvi izvori atmosferika dobro su poznati radistima kao radiosmetnje ili mesni atmosferski parazit. To su, uglavnom,planinski i šumski tereni,blatno zemljište, pojačana konvekcija leti,advekcija zimi itd.Jačina lokalnih atmosferika može biti toliko snažna da potpuno onemogući radiovezu.Ovaj tip atmosferika vrlo je važno proučiti pri analizi podataka atmoradiografa.



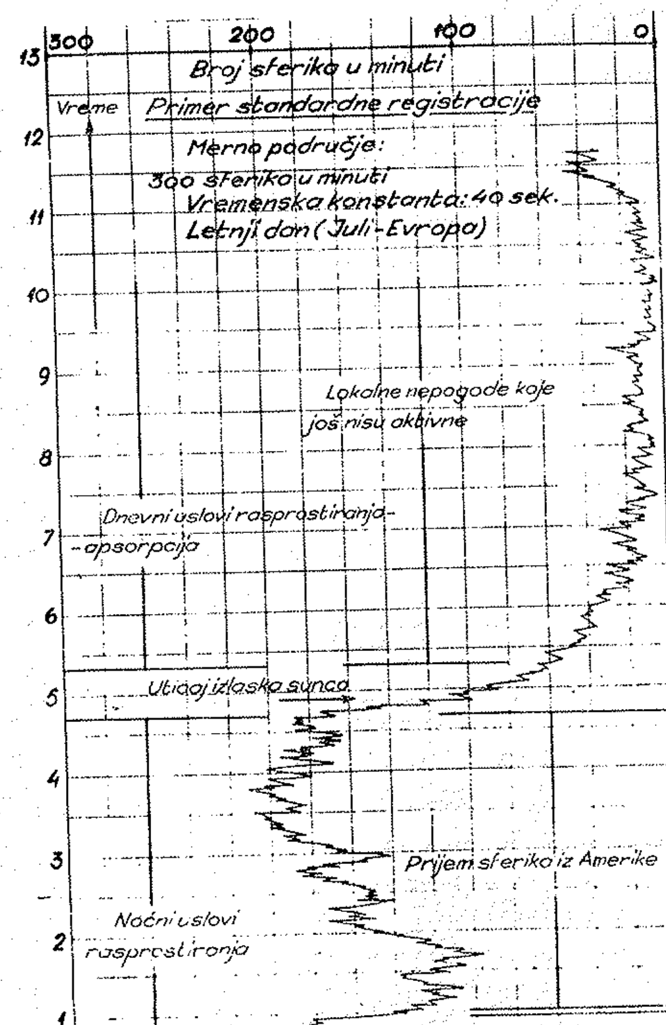
Sl.4.23.Rasprostiranje atmosferika pri zalasku Sunca

Atmoradiograf neprekidno beleži broj atmosferika u jedinici vremena. Prijemnik je podešen na frekvenciju 27 kc/s, odnosno talasnoj dužini od oko 11000 m.Na ovom talasnom području intenzitet atmosferika je maksimalan. Od čitavog spektra atmosferika atmoradiograf prima samo uski pojas frekvencija koje odgovaraju osetljivosti i podešenoj frekvenciji. Širina opsega prijema iznosi 4 kc/s, odnosno njegov frekventni opseg leži izmedju 25.5 i 28.5 kc/s.

Atmoradiograf prima atmosferike koji stižu u prije-

mnik sa dovoljnom snagom ili imaju povoljne uslove rasprostiranja. Atmosferici čiji se izvori nalaze na pravcima gde su uslovi rasprostiranja rdjavi,ne mogu biti primljeni atmoradiografom.

Registrator atmoradiografa neprekidno registruje broj atmosferika na dijagramu. Na apscisi ovog dijagrama se nalaze tri merna područja atmosferika.Radi primera, prikazan je dijagram standardne registracije na sl.4.24. Analizom dijagra-



Sl.4.24. Registracija atmosferika (spektra) atmoradiografom

ma atmoradiografa uočavaju se lokalne nepogode koje još nisu postale aktivne kao i dnevni uslovi rasprostiranja atmosferika koji nastaju zbog apsorpcije. Jake lokalne nepogode u popodnevnim časovima praćene brojnim atmosferkim pražnjenjima daju na dijagramu izrazit maksimum atmosferika.

4.4 Brojači atmosferkih električnih pražnjenja bliskih grmljavinskih nepogoda

Ovi instrumenti automatski broje primljene impulse elektrostatičke komponente električnog polja bliskih grmljavinskih nepogoda. U meteorološkoj službi služe da se dobije obaveštenje o grmljavinskoj aktivnosti u mernom području brojača i prosečan broj atmosferkih električnih pražnjenja prema zemlji.

Brojač tipa RHMZ je tako podešen da registruje atmosferska električna pražnjenja bliskih grmljavinskih nepogoda. Podešavanje poluprečnika prijema brojača može se vršiti po želji. Brojač registruje električne impulse atmosferskih električnih pražnjenja koji ne traju kraće od 0.5 s. Vreme relaksacije iznosi 0.5 s. Kada nema signala atmosferskih električnih pražnjenja na ulazu brojača potrebna struja iznosi 1.2 mA, a u momentu odbrojavanja signala 67 mA.

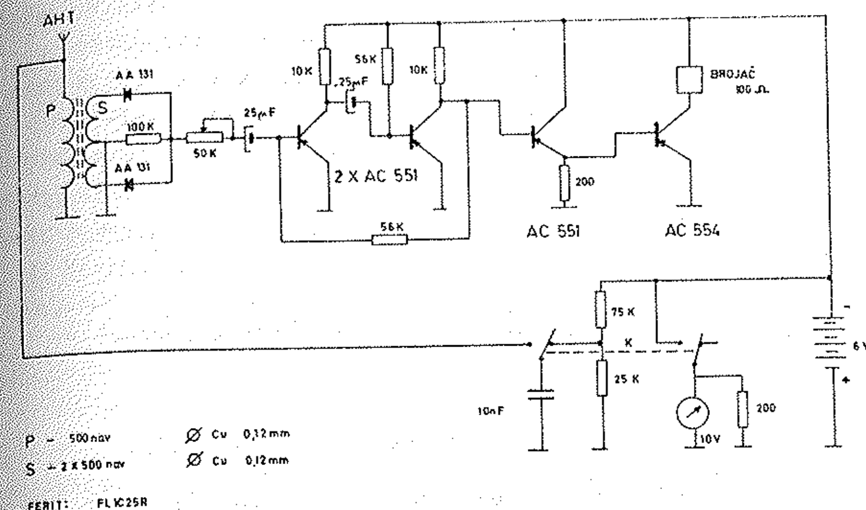
Napajanje brojača je pomoću baterije sa naponom od 6 V. Uredjaj radi stabilno u dijapazonu temperature od 0 do 60°C.

Osnovni delovi ovog brojača su: prijemna antena, ulazni deo, multivibrator, pojačivač, brojilo, instrument za kontrolu radiouredjaja i napajanja, deo za napajanje, uzemljenje i td.

Prijem elektromagnetnih impulsa grmljavinskih pražnjenja vrši se preko antene dužine 3.5 m . Indukovana elektromotrona sila stiže na ulaz prijemnog dela brojača, i da bi se odbrojili impulsi ma koje polarnosti transformacioni deo sastoji se iz dioda otpornika i promenljivog kondenzatora.

Brojač je po konstrukciji aperiodični ulaz, jer pojas propuštanja (38 kHz) vrši dobrotu ulaza manju od jedinice. Pri ma kojoj polarnosti atmosferskog pražnjenja, napon sa sekundara transformatora dolazi uvek negativan na multivibrator

zahvaljujući didodama. Na sl.4.25. prikazana je šema brojača.



Sl.4.25. Šema brojača "RHMZ"

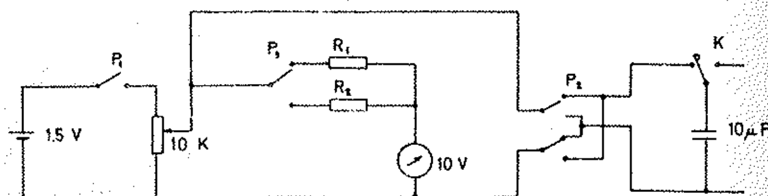
Multivibrator se sastoji iz tri tranzistora i nekoliko otpornika, a radi na sledeći način:

Kada na ulazu multivibratora nema impulsa tranzistor P_2 je otvoren, a P_1 zatvoren. Kako na ulaz multivibratora dolazi negativan napon kroz P_1 počinje da teče struja. Ova struja izaziva promene napona na kolektoru tranzistora P_1 i preko C_2 dolazi na osnovu P_2, a u isto vreme P_2 se zatvara. Čim se C_2 isprazni, P_2 se otvara, a P_1 zatvara i tako se ponavlja svaki put kada se napon indukuje u anteni.

Napon dobijen sa R_5 i R_6 dolazi na pojačavački stepen. Kada nema napona na ulazu pojačavačkog stepena struja preko tranzistora P_3 i P_4 ne prelazi i pojačavač ne radi. Čim se na ulazu pojačavačkog stepena indukuje napon, nastao usled impulsa jačine oko 60 mA, elektromagnet u kolu kolektora dejstvuje na brojilo uredjaja.

Provera rada brojača i odredjivanje praga osetljivosti, odnosno poluprečnika prijema brojača, vrši se pomoću uredjaja za baždarenje (sl.4.26.). Dva puta u toku godine za svaku stanicu na teritoriji SR Srbije baždare se brojači, a njihove vrednosti ulaze u proračun efektivnog poluprečnika prijema brojača.

Da bi se odredio broj atmosferskih električnih pražnjenja prema zemlji na jedinicu površine (registrovan brojačem RHMZ) mora se prethodno za svaki brojač odrediti njegov efektivni poluprečnik prijema. Pod efektivnim poluprečnikom prijema brojača podrazumeva se poluprečnik kruga oko brojača u kojem je broj nastalih atmosferskih električnih pražnjenja jednak broju registrovanih brojačem.



Sl.4.26. Uredjaj za baždarenje brojača RHMZ

Za odredjivanje efektivnog poluprečnika prijema brojača, osim tehničkih karakteristika brojača, potrebno je uzeti u obzir i osobine električnih impulsa atmosferskih električnih pražnjenja koje se odlikuju neregularnošću javljanja i slučajnom raspodelom u toku vremena i u prostoru. Ove osobine električnih impulsa zahtevaju primenu statističkog modela pri izračunavanju srednjeg broja pražnjenja na jedinicu površine. Naime, podaci o broju pražnjenja registrovanih brojačem odnose se na površine koje su ograničene usled smanjenja amplitude električnih impulsa. Zbog toga je vrlo teško odrediti podatke brojača, a da se ne izvrše i prethodne statističke obrade osnovnih impulsa.

Snaga impulsa, koja potiče iz izvora električnog polja, menja se sa rastojanjem, tako, da njena vrednost opada sa trećim stepenom udaljenja. Statistička raspodela struje pražnjenja i naelektrisanja unutar šire granice, sledi standardni logaritamski zakon. Prema tome, izgleda, da se isti zakon može prihvatiti i za domet impulsa. Za raspodelu dometa postoji verovatnoća P pri kojoj će domet biti jednak ili veći od P.

P je odredjeno pomoću Gausovog integrala:

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{t}^{\infty} exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt \qquad t = \frac{1}{S} \log \frac{r}{r_o} \qquad (4.14)$$

S-standardno odstupanje, r_o-vrednost medijana dometa tj. 50% vrednosti dometa prelazi ovu vrednost.

Na primer, ako je vrednost medijana dometa (r_o) 10km znači da će na ovom rastojanju biti detektovano najmanje 50% impulsa. Pri standardnoj devijaciji impulsa S=0.45, biće detektovano oko 6% od svih nastalih impulsa na rastojanju 50 km. U slučaju elektrostatičkih impulsa domet opada sa trećim stepenom rastojanja, $S'=\frac{S}{3}$, pa će pri vrednosti medijana od 10 km biti detektovano 6% impulsa na rastojanju 17.1 km (Norinder, 1954).

Aritmetička sredina rastojanja (r_a) iznosi:

$$r_a = r_o exp\left(\frac{S^2}{ZM^2}\right) = r_o exp(2.65 S^2)$$

M-modul prirodnog logaritma (=0.4343). Za S=0.45 vrednost aritmetičke sredine dometa r_a je za oko 1.7 puta veća od vrednosti medijana r_o, a za S=0.15 samo za 1.061 puta, pa prema tome, greške leže u samom elektrostatičkom brojaču.

Efektivni poluprečnik prijema brojača odredjen je odnosnom funkcije verovatnoće (P)

$$R_{ef} = r_{ef}^2 \pi = \int_0^\infty P dt = 2\pi \int_0^\infty P_r \, dr \qquad (4.15)$$

Dajući različite vrednosti za S, r_{ef} se može dobiti kao aproksimacija vrednosti S=01 do 0.5:

$$r_{ef} = r_o exp(4.8 S^2)$$

Pri proračunu efektivnog poluprečnika prijema brojača koristi se i formula Mahotkina (1965) ali sa nešto manjim dometom:

$$R_{ef} = R\left(\frac{Em}{Eo}\right)^{1/K} exp\left(\frac{S}{K}\right)^2 \qquad (4.16)$$

R-rastojanje na kome je vrednost medijana napona polja atmosferskih električnih pražnjenja jednaka E_m; k-indeks koji pokazuje odnos izmedju napona polja i rastojanja, S -standardno odstupanje parametara elektromagnetnog talasa emitovanog od izvora atmosferskih električnih pražnjenja, i E_o-napon električnog polja grmljavinskog pražnjenja na rastojanju R=0.

Pri proračunu efektivnog poluprečnika prijema brojača koristi se i sledeća formula dobijena empiričkim putem:

$$R_{ef} = 18.5 \sqrt{\frac{R}{8.5}} \qquad (4.17)$$

R-poluprečnik prijema brojača. Pri proračunu efektivnog poluprečnika prijema, pomoću iznetih formula, dobijene su različite vrednosti.

Baždarenjem brojača dobijene su vrednosti praga osetljivosti od 0.9 do 1.4 V/m, što odgovara prijemu impulsa za rastojanja od 50 do 25 km. Srednja vrednost maksimalnog rastojanja prijema je oko 35 km. Medjutim, efektivni poluprečnik prijema je za 4-5 puta manji od maksimalnog.

Da bi se praktično odredio poluprečnik prijema brojača, osim uredjajem za baždarenje, korišćene su dnevne karte raspodele grmljavinskih nepogoda iznad teritorije SR Srbije.

Iz mesečnih izveštaja glavnih meteoroloških, klimatoloških i padavinskih stanica ravnomerno rasporedjenih oko svakog brojača, uzeti su podaci vizuelnih osmatranja grmljavinskih nepogoda (sevanje, grmljenje, grmljavina).

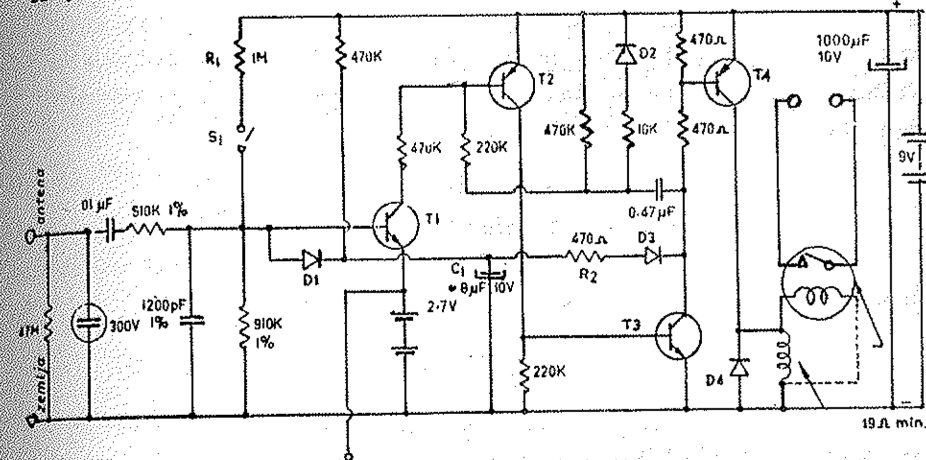
Merenjem rastojanja izmedju grmljavinske nepogode i brojača, kada je ovaj detektovao atmosferska pražnjenja, dobija se odnos izmedju broja registrovanih pražnjenja i rastojanja. Pošto se čestine impulsa registrovanih pražnjenja raspordjuju prema logaritamskom zakonu, konstruisan je grafikon $N=f(R)$, gde je N-dnevna suma brojača pražnjenja, a R-rastojanje u km.

Za izračunavanje broja atmosferskih električnih pražnjenja na 100km2 iskorišćena je srednja vrednost efektivnog poluprečnika prijema dobijena pomenutim metodima.

Brojač CIGRE je drugi tip brojača koji se nalazi u mreži meteoroloških stanica na teritoriji SR Srbije, a koji je preporučen od radne grupe Sigre (CIGRE-medjunarodna organizacija za velike električne mreže). Ovaj brojač automatski registruje nagle promene elektrostatičkog polja bliskih atmosferskih električnih pražnjenja. Podešen je da u većini slučajeva registruje atmosferska pražnjenja prema zemlji, odnosno, izmedju oblaka i zemljine površine. S obzirom da u izvesnim slučajevima registruje i pražnjenja unutar oblaka, ukupni godišnji broj pražnjenja koji registruje brojač mora se odrediti primenom korekcionih faktora.

Na sl.4.27. prikazana je šema ovog brojača. Ulazne

komponente zajedno sa serijskim kapacitetom od oko 220 pF proizvode željenu frekventnu karakteristiku. Tranzistor T_1 postaje provodan kada napon na njegovoj bazi premašuje 3.3 V. (Koji se uspostavlja i na živinim ćelijama i na bazi-emiter tranzistoru). Tada se dovodi struja na bazi tranzistora T_2 koji sa T_3 formira monostabilni multivibrator. Zbog toga, tek kada je T_2 uključeno T_3 ostaje, takodje, uključeno u trajanju od oko 50 m/s. Ovako stanje omogućuje da T_4 provodi struju i pokrene brojilo brojača.



Sl.4.27. Šema "Sigrinog" brojača

Da bi se obezbedilo "dovoljno vreme prekida" posle jedne "radne akcije" brojača, tranzistor T_3 se prazni preko C_1,D_3 i R_2. Na ovaj način, baza T_4 neće postati dovoljno pozitivna da bi započela druga "radna akcija" brojača sve dok C_1 ne obezbedi napon preko 3V. Ispitivanje baterijskog kola vrši se preko R_1 i S_1. Brojač će raditi kada se zatvori S_1, ali je ipak potrebno da baterijski napon premaši napon od 6.5 V (normalno 9 V).

Antenu brojača čini hotizonatlni antenski sistem sa prosečnom visinom oko 5 m iznad zemljine površine. Za postavljanje antene i uključivanje brojača u rad postoje posebna uputstva Sigre sa kriterijumima o udaljenju antena od visokih naponskih i dr. objekata.

S obzirom da atmosferska električna pražnjenja imaju širok opseg vrednosti u odnosu na pražnjenja ka zemlj i oblaku,

efektivni poluprečnik prijema ovog tipa brojača može se računati samo za deo pražnjenja (f) koji nastaje u prostoru: r i r+dr. Efektivni prijem brojača se menja u zavisnosti od grmljavinske nepogode. Medjutim, može se ipak naći neka srednja veličina efektivnog poluprečnika prijema brojača, a u korelaciji sa osmatranjima na meteorološkim stanicama, od oka i na sluh, a isto tako, i radarskim osmatranjima o lokacijama grmljavinskih nepogoda, slično već iznetim metodima nalaženja efektivnog poluprečnika kod brojača RHMZ.

Efektivni poluprečnik prijema (R_{ef}) ovog tipa brojača računa se na sledeći način. Ako je N broj pražnjenja u jedinici vremena i na jedinicu površine konstantan u posmatranom vremenskom periodu, tada je:

$$N = \frac{K}{\pi R_{ef}^2} \qquad (4.18)$$

K je ukupan broj pražnjenja u jedinici vremena.

Pošto se K eksperimentalno odredjuje iz sume parcijalnih pražnjenja (f) u području r, tada je:

$$R_{ef} = \int_0^\infty f N 2\pi r\, dr \qquad (4.19)$$

Eliminisanjem K dobijamo za efektivni poluprečnik prijema (R_{ef}) sledeći izraz:

$$R_{ef} = \left[2 \int_0^\infty f r\, dr \right]^{1/2} \qquad (4.20)$$

Brojač Sigre namnjen je da se merenjem i statističkom obradom dobije aproksimativan broj pražnjenja prema zemlji u odredjenom području ili lokalitetu. Pražnjenja koja se dogadjaju u oblaku takodje se registruju brojačem. Zbog toga se koristi korekcioni faktor koji se dobija polazeći od izraza za ukupni broj svih pražnjenja registrovanih u toku godine (K):

$$K = R_g^2 N_g + R_c^2 N_c \qquad (4.21)$$

u kome su Ng i Nc- broj pražnjenja prema zemlji i u oblaku proračunati na jedinicu površine, a Rg i Rc-odgovarajući efektivni poluprečnici prijema. Odnos broja pražnjenja prema zemlji i broja pražnjenja u oblaku Nc/Ng, može se dobiti iz jed. (4.21).

Korekcioni faktor se može odrediti iz poznatih veli-

čina Rg, Rc i Nc/Ng.

U praksi je vrlo složeno nalaženje odnosa Nc/Ng. Potrebna su specijalna ispitivanja na ogledno-istraživačkim poligonima, a isto tako, i efektivnog poluprečnika brojača pri registrovanju pražnjenja prema zemlji (Rg) i oblaku (Rc).

U nedostatku ovakvih istraživanja preporučuje se korišenja sledeće formule za odredjivanje odnosa Nc/Ng:

$$N_c / N_g = \frac{1}{2} T^{1/2} \qquad (4.22)$$

T-je broj dana sa grmljavinama.

Vrednosti efektivnog poluprečnika prijema izmereni u nekim zemljama pokazuju znatne razlike:

	R_g	R_c
-Švedska	12.5	7.7 km
-Z.Nemačka	17	-
-J.Afrika	30-40	-
-Australija	30	20 km

Sigra preporučuje za R_g=30 km, a R_c=20 km

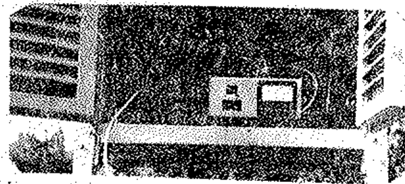
4.4.1 Merenje broja atmosferskih električnih pražnjenja pomoću brojača bliskih grmljavinskih nepogoda

Stanice za osmatranje broja atmosferskih električnih pražnjenja spadaju u grupu specijalnih meteoroloških stanica. Na teritoriji SR Srbije postoje: stanice za osmatranje broja atmosferskih električnih pražnjenja pri odabranim meteorološkim stanicama osnovne mreže hidrometeorološkog zavoda i stanice za osmatranje broja atmosferskih električnih pražnjenja u lokalitetima industrijskih objekata ili za trasiranje i održavanje nadzemnih električnih vodova.

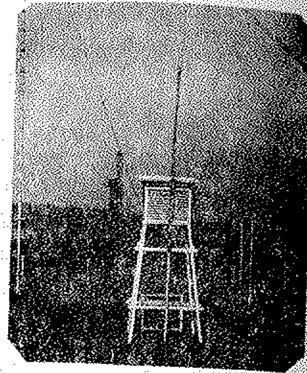
Brojač se postavlja u meteorološkom krugu, u zaklonu ili dr. pogodnom mestu (sl.4.28).

Osmatranje broja atmosferskih električnih pražnjenja sastoji se u čitanju brojila na radiouredjaju svakog punog sata. Podaci osmatranja broja pražnjenja beleže se u obrazac dnevnika osmatranja atmosferskih električnih pražnjenja. Pored podataka o broju pražnjenja unose se i podaci o električnim

pojavama osmotreni od oka i na sluh.



(a)



(b)

Sl.4.28. Brojač RHMZ u zaklonu(a) i spoljni izgled zaklona sa antenom (b)

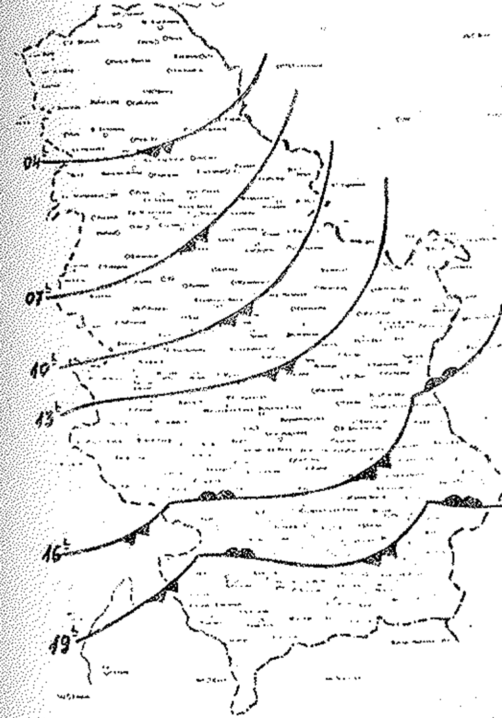
Radi sinoptičke analize ili za praktične potrebe kod ocene grmljavinske aktivnosti i broja atmosferskih električnih pražnjenja u toku dana, izveštaju SINOP pridodaju se posebne grupe brojeva.

Kritička kontrola podataka o broju pražnjenja sprovodi se na osnovu sinoptičko-radarske analize podataka. Istovremena analiza prostorne i vremenske raspodele broja pražnjenja i sinoptičko-radarskih osmatranja dosta je složena i usporava statističku obradu podataka, ali je ona neophodna za tačnije utvrdjivanje broja atmosferskih električnih pražnjenja.

Radi primera, prikazaće se uporedna analiza sinoptičko-radarskih podataka i prostorne raspodele broja pražnjenja u toku jednog karakterističnog dana sa grmljavinskom aktivnošću (11. avgust 1977.).

U toku 11. avgusta Severni Antlantik, posebno oblast oko Islanda bila je pod uticajem ciklonske aktivnosti: pretežno oblačno vreme, mestimično sa kišom, pljuskom i pojačanim vetrom. Iznad Britanskih ostrva, dela Zapadne Evrope i Skandinavije zadržalo se suvo i toplo vreme sa temperaturom vazduha od 15 do 20°C, u 13 časova, a pod uticajem povišenog vazdušnog pritiska. Medjutim, preko severnih delova Sovjetskog Saveza prodirao je hladan vazduha ka jugu donoseći padavine i pad temperature vazduha, dok je u južnom delu bilo toplo i nestabilno stanje sa lokalnim grmljavinskim nepogodana i pljuskovima. Pri ovakvoj meteorološkoj situaciji u Panonskoj niziji i na Balkanskom poluostrvu prodire vlažnija i hladnija vazdušna masa iz

oblasti Alpa i Srednje Evrope. Ovaj prodor hladnog i vlažnog vazduha (prikazan na sl.4.29.) izvršen je u Beogradu izmedju 7 i 10 časova. U zoni hladnog fronta bilo je vrlo nestabilno sa čestim grmljavinama. Čestina javljanja i trajanje grmljavinske aktivnosti može se proceniti prema broju registrovanih atmosferskih električnih pražnjenja.

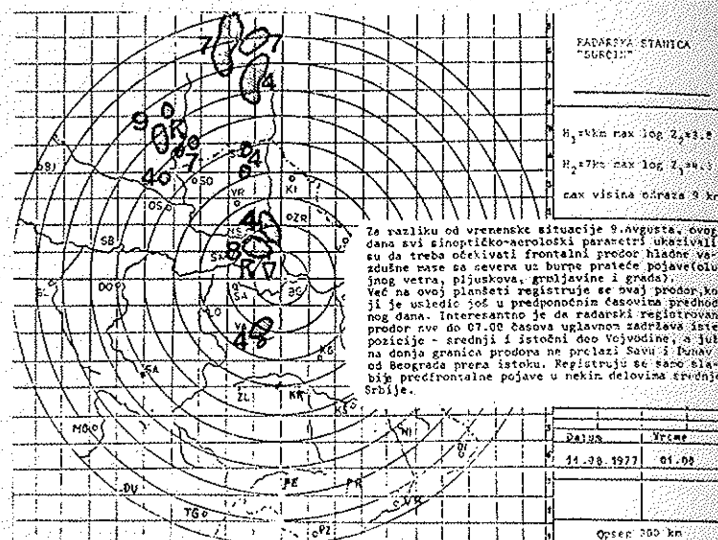


Sl.4.29. Premeštanje hladnog fronta preko teritorije SR Srbije (11. avgust 1977.godine)

Nestabilno stanje vremena objašnjava se i visokim strujanjem. Iznad Srednje Evrope i oblasti Alpa nalazila se visinska dolina. Prizemna i visinske sinoptičke karte ukazuju da su u toku 11.avgusta jaka termička i dinamička turbulencija uslovili moćne kumulonimbuse sa jakim pljuskovima i velikim brojem pražnjenja, zbog relativno male horizontalne brzine i povećane vlažnosti vazduha u zoni fronta (Z.Popović,1978.).

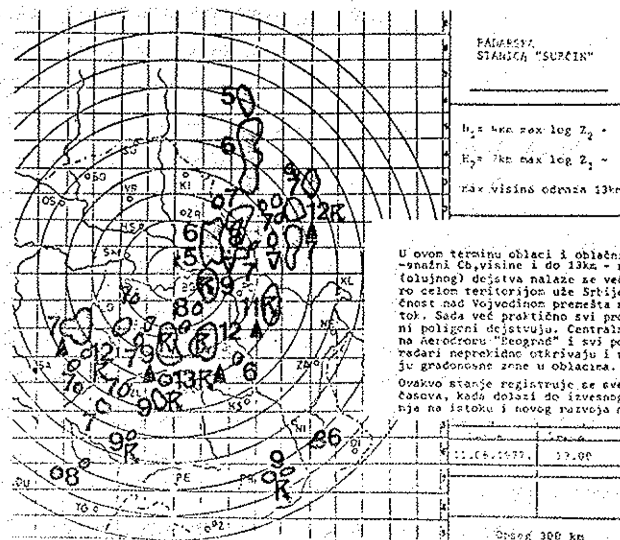
Istovremena analiza radarskih osmatranja sa meteorološkog radara u Surčinu ukazuje na lokacije kumulonimbusa, pravca kretanja i intenziteta radarskih odraza od hidrometeora. Na sl.4.30 i 4.31. mogu se pratiti razvoj i premeštanje grmljavinske aktivnosti iznad teritorije SR Srbije (M.Mioković, 1978.).

Brojači atmosferskih električnih pražnjenja, u toku 11. avgusta, registruju veliki broj pražnjenja naročito u popodnevnim časovima. Preko 1000 pražnjenja beleže one meteorološke stanice iznad kojih su osmotreni (na radarskim ekranima) kumulonimbusi visoki preko 8 km. U planinskim krajevima Srbije



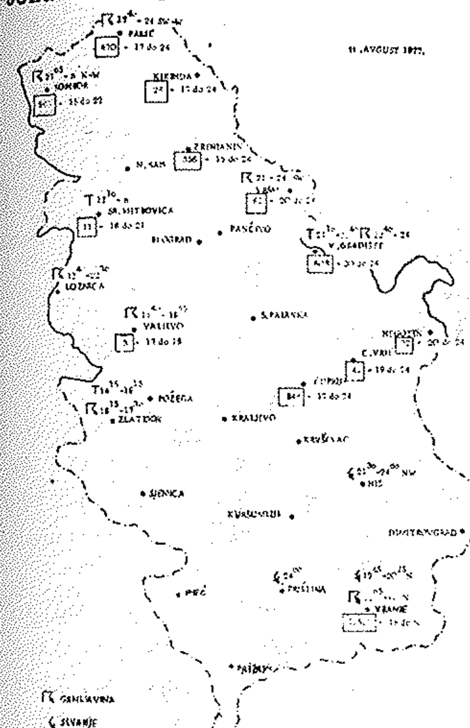
Sl.4.30. Radarska karta SR Srbije sa raspodelom grmljavinske aktivnosti 11.avgusta 1977. u 01 čas

i u Pomoravlju samo u toku jednog časa dogodilo se 30-60 pražnjenja na 100 km². U okolini Vranja izmedju 12 i 13 časova,



Sl.4.31. Radarska karta SR Srbije sa raspodelom grmljavinske aktivnosti 11.avgusta 1977. u 13 čas

prema podacima brojača, izračunato je oko 50 pražnjenja na 100 km². Na sl.4.32. prikazana je karta SR Srbije sa raspodelom ukupne sume pražnjenja (ne preračunate na jedinicu površine) kao i vreme osmotrene grmljavine na meteorološkoj stanici u toku 11. avgusta.



Sl.4.32. Raspodela grmljavinske aktivnosti prema vizuelnim osmatranjima na meteorološkim stanicama i ukupna suma pražnjenja registrovana brojačima

4.4.2 Statistička obrada podataka brojača

Da bi se dobila raspodela broja atmosferskih električnih pražnjenja na jedinicu površine,100 ili 1 km²,po mesecima i u toku godine potrebno je prethodno izvršiti statističku obradu prikupljenih podataka iz dnevnika osmatranja.

Prema izloženoj metodi za svaki brojač izračunat je efektivni poluprečnik prijema, a broj atmosferskih električnih pražnjenja na 100 km² računat je prema sledećoj formuli:

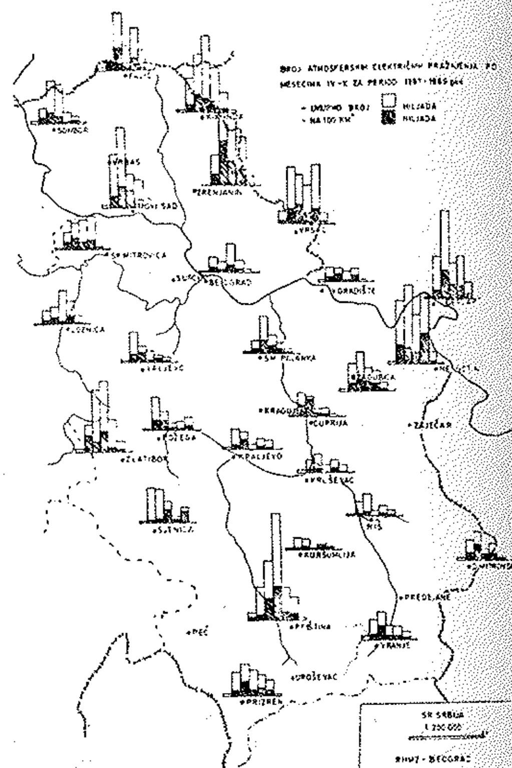
$$N_{100} = \frac{\sum N_u}{\pi R_{ef}^2} 100 \qquad (4.23)$$

Nu-ukupna suma pražnjenja u toku meseca, a R_e -efektivni poluprečnik prijema brojača.

Daje se primer raspodele broja atmosferskih električnih pražnjenja, ukupno i na 100 km², po mesecima za period osmatranja 1967-1969. (histogram na sl.4.33.). Podaci na histogramu se odnose na toplu polovinu godine, od aprila do oktobra. Od ukupnog broja stanica većina beleži maksimum broja pražnjenja u junu, a minimum u oktobru. Broj pražnjenja je veći u proleće nego u jesen.

Prosečna promena broja pražnjenja zavisi od godišnjeg niza osmatranja. Ukoliko je ovaj veći raspodela je tačnija. Mali niz osmatranja ispod 10 godina,ne može se sa sigurnošću koristiti za praktične potrebe u projektovanju i izgradnji gradjevinskih objekata i konstrukcija.

Mreža brojača postavljena je i u SR Sloveniji (D.Krapež 1973) još u toku 1967. Interesantno je upoznati raspodelu broja atmosferskih pražnjenja i na teritoriji ove Republike.



Sl.4.33. Raspodela ukupnog broja pražnjenja i preračunatog na 100 km²

Brojači tipa Sigre postavljeni su u Mariboru, Murskoj Soboti, Sv.Gori iznad Gorice i u Ljubljani.Prema podacima ovih brojača dobijena je raspodela broja pražnjenja po mesecima i za godinu (tabl.4.2). Atmosferska električna pražnjenja u Sloveniji se javljaju u periodu od aprila do oktobra. Najveći broj pražnjenja zabeležen je u julu i avgustu. Maksimum broja pražnjenja beleži brojač na Sv.Gori. Vrednosti u tablici 4.2 su proračunate na jedinicu površine.

Tablica 4.2

Srednji broj pražnjenja na 100 km² za period 1967-1970, za SR Sloveniju

Mesec / Mesto	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Sr.g.
Maribor	6	466	1640	1814	1924	477	18	906
M.Sobota	425	2289	3601	2216	3295	1688	26	1934
Sv.Gora	71	3732	1882	5466	3039	848	0	2140
Ljubljana	-	-	-	1481	960	298	-	913

4.5 Metodologija izrade karte o raspodeli broja atmosferskih električnih pražnjenja prema zemlji

Instrumentalno osmatranje broja atmosferskih električnih pražnjenja pomoću brojača vrši se u mnogim zemljama pa i našoj, ali u mreži stanica koje, najčešće, ne pokrivaju potpuno državnu teritoriju. Broj brojača je primetno manji u planinskim krajevima nego u ostalim.

U našoj zemlji brojači nisu ravnomerno postavljeni, grupisani su samo u dve republike, u SR Srbiji i SR Sloveniji. U uporedjenju sa mrežom glavnih ,običnih i padavinskih stanica koje vrše osmatranja grmljavinskih nepogoda i električnih pojava, mreža brojača na teritoriji SFRJ je veoma siromašna.

Pri izradi karata o broju pražnjenja na jedinicu površine, naročito u ovakvim slučajevima kada mreža brojača ne pokriva dovoljno teritoriju ali postoje brojne meteorološke stanice koje vrše sistematska i neprekidna vizuelna osmatranja, traže se uporedni odnosi izmedju broja pražnjenja i broja dana sa grmljavinom. Koristi se, naime, dragoceni materijal meteoroloških vizuelnih osmatranja električnih pojava, uzimajući u obzir njihove subjektivne vrednosti u odnosu na podatke brojača.

Da bi se dobili koeficijenti za preračunavanje traže se odnosi iz višegodišnjih srednjih vrednosti o broju dana sa grmljavinom i broju pražnjenja, za svako fizičko-geo-

grafsko područje. Najčešće se za svaku stanicu koja raspolaže brojačem i podacima vizuelnih osmatranja konstruišu elksperimentalni grafikoni. Broj dana sa grmljavinom se može odrediti osim podacima vizuelnih osmatranja iz stanice koje se nalaze u mernom području brojača, i na osnovu podataka brojača uzimajući za dan sa grmljavinom kada je registrovano u toku dana više od pet impulsa. Za koliko se mogu razlikovati podaci o broju dana osmotrenih vizuelno, od oka i na sluh, i instrumentalno pomoću brojača prikazano je u tabl.4.3. U prvoj koloni tablice je srednji godišnji broj dana sa grmljavinom osmotren vizuelno, ali na stanicama koje su u mernom području brojača;

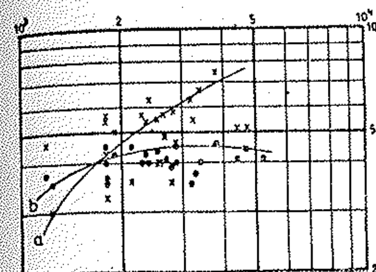
Tablica 4.3.

Odnos broja dana sa grmljavinom i broja pražnjenja

Mesto		Srednji god.broj dana sa grmljavinom		Srednji god. broj pražnjenja
		vizuelno	po brojaču	
1	Palić	43 (49)	59	2857
2	Sombor	36 (45)	30	1307
3	Kikinda	38 (41)	54	3251
4	Novi Sad	40 (43)	65	3309
5	Zrenjanin	41 (35)	51	4352
6	Vršac	46 (46)	73	3857
7	Sr.Mitrovica	40 (55)	47	2877
8	Pančevo	46 (-)	36	2082
9	V.Gradište	45 (50)	42	1828
10	Loznica	40 (56)	62	2387
11	Beograd	37 (41)	43	1842
12	Valjevo	40 (54)	40	2501
13	Sm.Palanka	41 (50)	49	2686
14	Djerdap	41 (40)		5102
15	Negotin	43 (43)	51	4616
16	Crni Vrh	47 (-)	58	2594
17	Ćuprija	39 (47)	35	2820
18	Zlatibor	40 (44)	57	2286
19	Požega	42 (52)	50	1910
20	Kraljevo	40 (55)	53	1845
21	Kruševac	36 (47)	63	3229
22	N i š	42 (51)	54	1389
23	Kuršumlija	38 (55)	47	1254
24	Dimitrovgrad	44 (63)	56	2518
25	Vranje	43 (53)	57	1756
26	Priština	43 (47)	65	4887
27	Prizren	41 (49)	67	2368
28	P e ć	44 (48)	50	1239
29	Sjenica	42 (49)	51	2230

u zagradi je godišnji maksimum broja dana sa grmljavinom u mernom području brojača; u drugoj koloni je srednji godišnji broj dana sa grmljavinom po brojaču, i u trećoj, prosečni broj pražnjenja, za period 1967-1974.

Odnos izmedju broja pražnjenja i broja dana sa grmljavinama prikazan je grafički na sl.4.34.



Sl.4.34. Odnos broja pražnjenja i broja dana sa grmljavinom odredjen:pomoću brojača (a) i vizuelnim osmatranjem u mernom području brojača

U tablici 4.4 su podaci o srednjem godišnjem broju pražnjenja i srednjem godišnjem broju dana sa grmljavinom za teritoriju SR Slovenije.

Tablica 4.4.

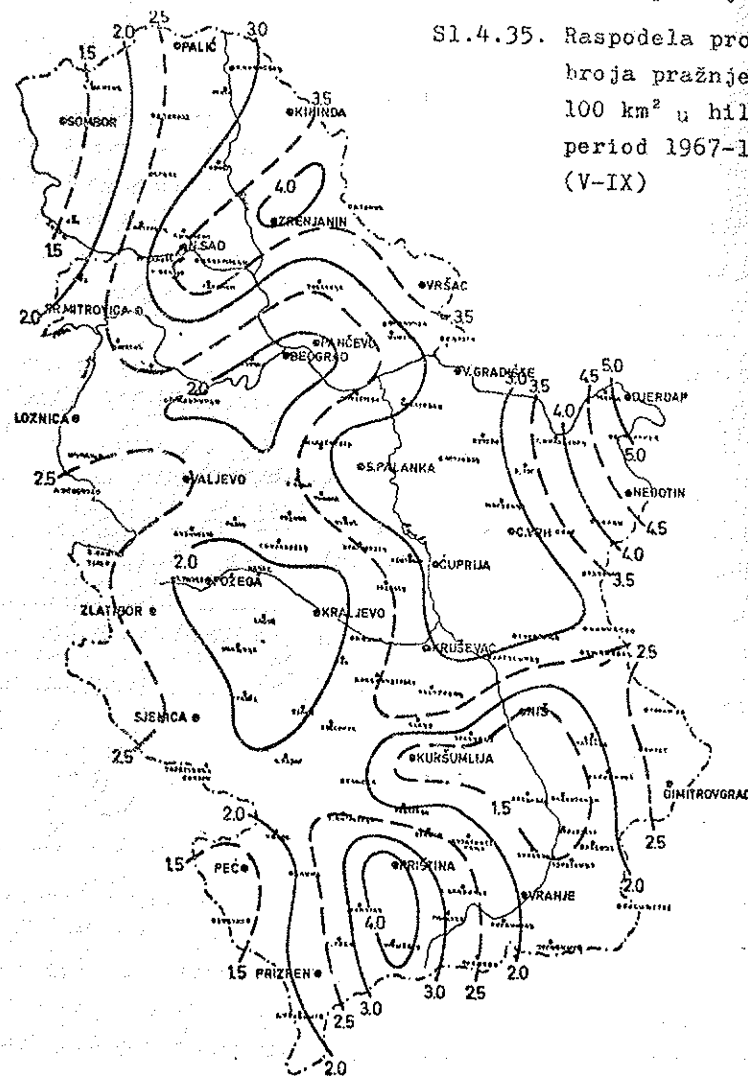
Srednji godišnji broj pražnjenja i broja dana sa grmljavinama, u SR Sloveniji

M e s t o	Srednji godišnji broj pražnjenja	Srednji godišnji broj dana sa grmljavinama za period 1948.-1967.
Maribor	906	35.6
M.Sobota	1934	29.5
Sv.Gora	2140	60.5
Ljubljana	913	43.9

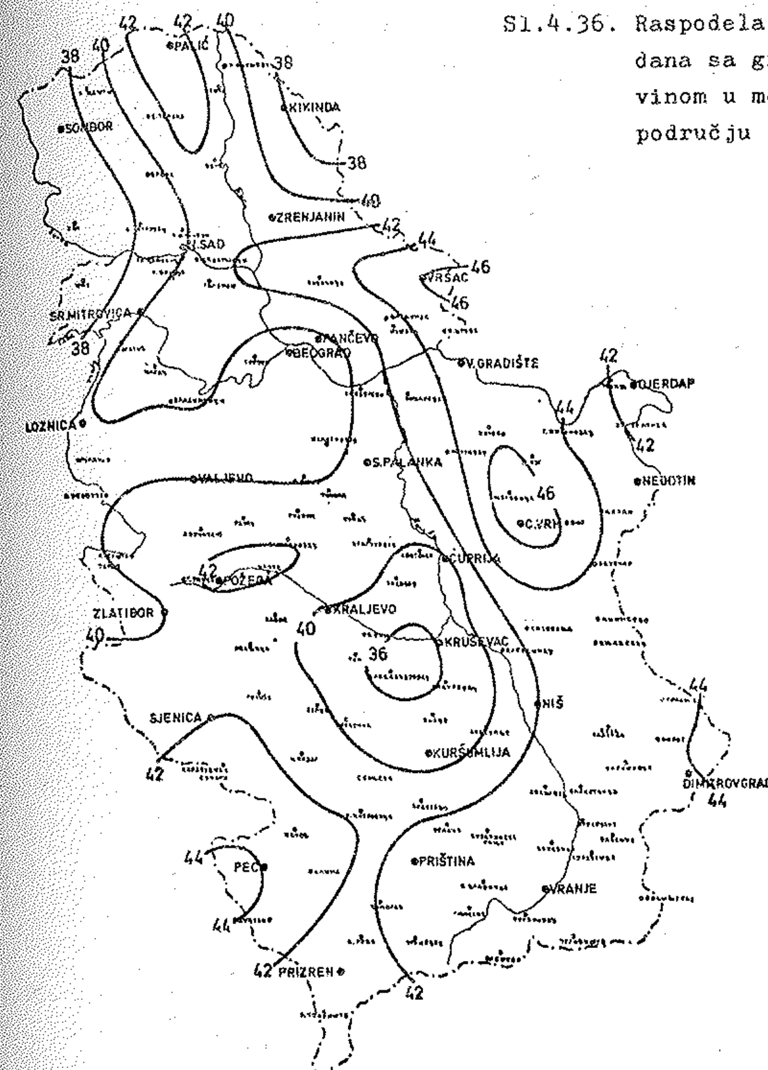
Iz grafikona i tablice uočava se tesna veza izmedju broja dana sa grmljavinama i broja atmosferskih električnih pražnjena. Medjutim, ova veza nije linearna, naročito za prolećne i jesenje mesece. Uopšte se može reći, da je teško utvrditi vezu izmedju broja dana sa grmljavinom i broja pražnjenja ukoliko su mali nizovi osmatranja. Zbog toga se najčešće polazi od srednjih višegodišnjih vrednosti, ne manjim od deset godina. Za teritoriju SR Srbije traženi su koeficijenti korel-

acije za višegodišnji period osmatranja 1967-1974., za svaku stanicu posebno, vrednosti koeficijenta korelacije su iznosili: od 0.67 do 0.92.

Na sl.4.35. je teritorijalna raspodela broja atmosferskih električnih pražnjenja na 100 km² za pražnjenje oblak-zemlja i unutar oblaka, a na sl.4.36. je broj dana sa grmljavinom u mernom području brojača, za period 1967-1974.



Sl.4.35. Raspodela prosečnog broja pražnjenja na 100 km² u hiljadama, period 1967-1974. (V-IX)



Sl.4.36. Raspodela broja dana sa grmljavinom u mernom području brojača

Za ocenu broja pražnjenja prema zemlji u odnosu na broj dana sa grmljavinom najčešće se koristi sledeća formula:

$$N = aT^{b} \qquad (4.24)$$

N-broj pražnjenja prema zemlji, T-broj dana sa grmljavinama, a i b-konstante. Vrlo je važno utvrditi konstante a i b za svako fizičko-geografsko područje. Pri traženju odnosa N i T prethodno mora postojati vrlo visok stepen koeficijenta korelacije. Kod mnogih autora konstante a i b se dosta razlikuju:

A u t o r:	Konstatne (a i b) (a)	(b)
1. Bruks (1950)	0.5	1
2. Bold (1945)	0.16+x, x=0.14 (-0.06)	1
3. Miler-Hilebrant (1965)	0.04	2
4. Popolanski (1970)	14.6-18.5	0.9-1.74
5. Kolokolov (1968)	0.4-0.8	1.2-1.3

Na teritoriji SR Srbije postoje više fizičko-geografskih područja sa različitim konstantama a i b.

Na osnovu izmerenog i izračunatog broja pražnjenja, kao i broja dana sa grmljavinom predložen je dijapazon broja pražnjenja prema zemlji za različita fizičko-geografska područja na teritoriji SR Srbije i SR Slovenije (tablica 4.5).

Tablica 4.5

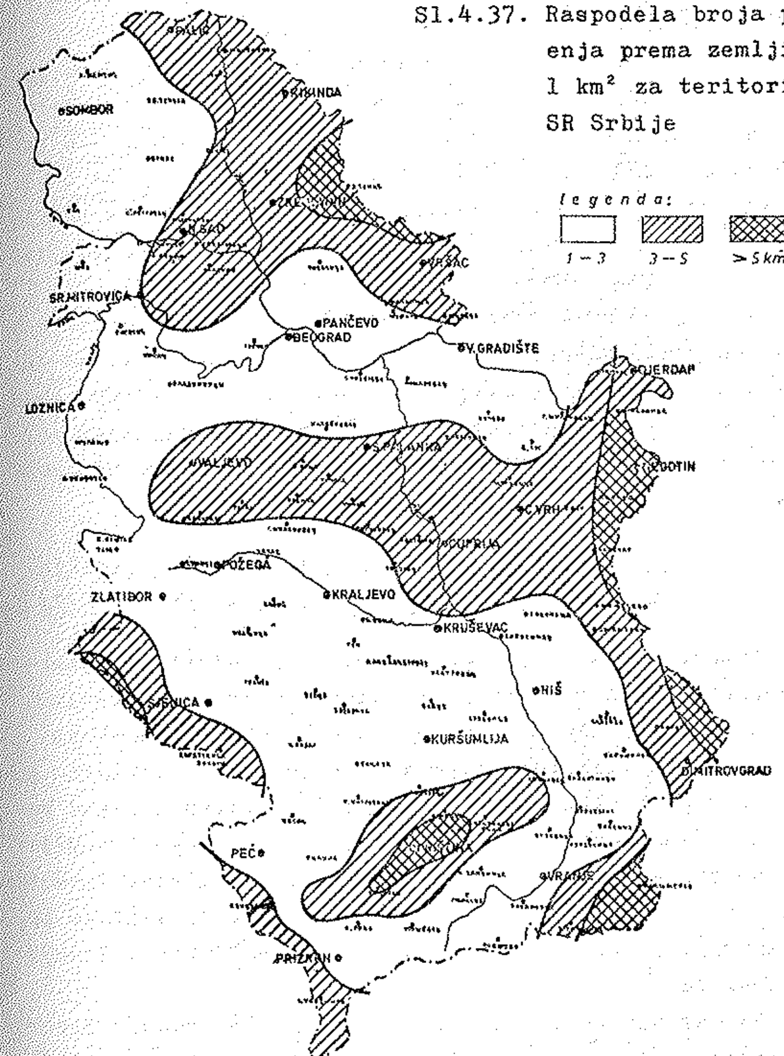
Raspodela izmerenog i računatog broja atmosferskih električnih pražnjenja na 1 km² za različita fizičko-geografska područja

Područje	izmeren broj pražnjenja	računat broj pražnjenja $N = aT^b$	izokeraunički nivo		predložena raspodela broja pražnjenja
Zapadna Vojvodina	1.0	2.6	34	I	1.0-3.0
Ostali deo Vojvodine	3.0-4.0	3.5	40	II	3.0-5.0
Šire područje Beograda	2.0	4.2	37	II	3.0-4.0
Zapadna Srbija	2.0	3.9	40	II	3.0-4.0
Šumadija	3.0	4.4	39	II	3.5
Homolje	3.0	7.7		III	5.0-7.0
Negotinska Krajina	5.0	8.5	43	IV	7.0-9.0
Jugozapadna Srbija	2.0	2.2	41	II	3.0
Toplica	1.0	1.9	36	I	1.0-2.0
Područje Niša	2.0	4.2	42	II	3.5
Jugoistočna Srbija	2.0-3.0	2.9-3.4	41-43	II	3.5
Kosovo	3.0-5.0	5.5	43	III	5.0-7.0
Maribor	4.3	4.9	35(35.6)	II	5.0
Murska Sobota	3.0	3.9	30(29.5)	II	3.0-4.0
Sv.Gora	13.0	12.5	65(60.5)	V	10.0-12.0
Ljubljana	3.0	7.2	45(43.9)	III	5.0-7.0

Na sl.4.37. je karta SR Srbije sa raspodelom broja pražnjenja prema zemlji na 1 km².

Za teritoriju SR Slovenije godišnji broj pražnjenja je podeljen sa površinom prijema brojača Sigre (900 km²) pa je

na ovaj način i izračunata raspodela broja pražnjenja prema zemlji na 1 km².



Sl.4.37. Raspodela broja pražnjenja prema zemlji na 1 km² za teritoriju SR Srbije

Pri izboru konstanti (a) i (b) mora se voditi računa da područja sa istim konstantama imaju odgovarajuće izokerauničke nivoe (jednake brojeve dana sa grmljavinom) i slične fizičko-geografske uslove (ravnice, doline, planine, planinske visoravni i sl.).

Za izradu privremene karte o broju dana sa grmljavinom na teritoriji SFRJ, a koja je korišćena za proračunavanja sa broja dana sa grmljavinom na broj pražnjenja prema zemlji, poslužile su mnoge karte, a naročito srednja godišnja karta o raspodeli broja dana sa grmljavinama na teritoriji SFRJ za period 1958-1973. (SHMZ, 1973), srednja godišnja karta o raspodeli broja dana sa grmljavinama na teritoriji SR Srbije, za period 1948-1968, (RHMZ SRS,1973), srednja godišnja karta o broju dana sa grmljavinama na teritoriji SR Slovenije, za period 1948-1970. (RHMZ SRS, 1973) i izokerauničke karte SFRJ za period 1948-1964. i 1948.-1970. (D.Djukanović, ZJE, 1970).

Osim pomenutih karata za izradu privremene karte o broju dana sa grmljavinama na teritoriji SFRJ koristile su se i opisi i analize uslova o nastanku i čestinama javljanja grmljavinskih nepogoda u Jugoslaviji, njihove putanje i raspodela vremenskih stanja pri kojima se javljaju grmljavinske nepogode u Jugoslaviji (M.Čadež, 1964).

4.5.1 Meteorološki uslovi stvaranja grmljavinskih nepogoda, njihov intenzitet i putanje u SFRJ

Dosadašnje studije ukazuju da se povoljniji dinamički i termički uslovi nestabiliteta javljaju pri prodiranju hladnih i toplih vazdušnih masa, ili pak u jednoj vazdušnoj masi u toku letnjeg perioda, kada se javljaju tzv. toplotne grmljavinske nepogode. Isto tako, pri jakim padavinama ispod kumulonimbusa prvenstveno zbog isparavanja kišnih kapi i topljenja snega na većim visinama obrazuje se posebna hladna vazdušna masa koja teče na sve strane, ukoliko naidje na orografsku prepreku izazivaju dizanje i stvaranje novih grmljavinskih nepogoda (M.Čadež,1964).

Za analizu odnosa broja dana sa grmljavinskim nepogodama i broja pražnjenja na jedinicu površine interesantno je uzeti i prodore hladnog i toplog vazduha pri kojima se stvaraju grmljavinske nepogode, njihove čestine javljanja iz raznih pravaca i vremenska stanja pri kontinentalnom tipu vremena.

Hladan vazduh prodire u Jugoslaviju sa raznih strana, a najčešće sa severozapada i severa. U tabl.4.6. prikazane su čestine prodora hladnog vazduha u toku tople polovine godine.

Hladni prodori sa severa često su praćeni grmljavinskim nepogodama, leti iznad kopna a zimi iznad mora (zbog nestabilnosti prilikom prodora hladnog vazduha na toplo more).

Pri prodorima u toku leta i noću hladan vazduh sa severa popuni Panonski basen, i već u toku idućeg dana usle naglog zagrevanja javljaju se jako razvijeni kumulusni oblaci, a u popodnevnim časovima počinje kiša praćena intenzivnim električnim pražnjenjima.

Tablica 4.6

Učestanost hladnih prodora izvršenih u Jugoslaviji u godinama 1951. i 1952.

Prodor iz	*I*	*II*	*III*	*IV*	*V*	*VI*	*VII*	*VIII*	*IX*	*X*	*XI*	*XII*	*god.*
SW	0	1	3	1	2	3	0	0	1	0	2	0	13
	3	1	2	2	1	1	1	1	2	1	4	1	0
W	0	1	2	1	1	2	1	1	0	0	0	0	9
	0	1	0	0	1	2	0	2	2	1	0	3	12
NW	6	5	4	4	5	3	5	3	4	0	3	2	44
	4	2	1	2	2	6	6	4	3	5	5	2	42
N	1	1	3	1	0	0	2	2	2	1	2	3	18
	2	4	5	0	3	2	1	2	1	3	1	1	25
NE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	2
E	2	3	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	8
	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	2	6
SE	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	4	0	6
	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0	1	0	5
S	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Z b i r	9	11	14	7	9	8	8	6	9	1	11	6	99
	11	8	8	8	8	11	9	9	9	10	12	9	112

Hladni severozapadni i zapadni prodori izazivaju slične promene u razvoju vremena kao i severni. To je tzv.severno stanje vremena kada se javljaju grmljavinske nepogode usled zagrevanja polarnog vazduha iznad toplog kontinenta i uzlaznog strujanja ovog nestabilnog vazduha uz orografske prepreke. Tada se intenzivne grmljavinske nepogode javljanju na

privetrinskim stranama planina u Bosni i Srbiji. Pri prodiranju vazduha iz južnog kvadranta takodje se mogu javiti grmljavinske nepogode na privetrinskim stranama planina u Alpima i na Severnom primorju. U prodrlom morskom vazduhu javljaju se veliki temperaturni gradijenti pri tlu u zoni zastoja, koja omogućuje stvaranje jakih grmljavinskih nepogoda na Kvarneru i Sloveniji.

Prema klasifikaciji vremenskih stanja Jugoslavije (M.Čadež,1964) grmljavinske nepogode nastaju najčešće pri konvektivnom tipu vremena ili medjusobnih kombinacija kao što su anticiklonalno-konvektivni i konvektino-ciklonalni tipovi vremena.

Na osnovu sistematskih proučavanja razvoja vremena u Jugoslaviji (M.Čadež, 1964) može se zaključiti da stvaranje grmljavinskih nepogoda na području SFRJ ima više mogućnosti:

-zagrevanje vazduha od podloge (iste vazdušne mase ili hladne vazdušne mase, koja je prodrla na toplu podlogu);

-konvergencija mase u oblasti hladnog fronta;

-dinamičko zagrevanje i hladjenje atmosfere;

-konvergencija mase izazvana zagrevanjem prisojnih strana planina (Alpi i Balkanskog poluostrva);

-nagomilavanje vazduha na privetrinskoj strani planina (oblast Kvarnera pri južnom stanju ili na severnoj strani Dinarskih planina pri severnom stanju).

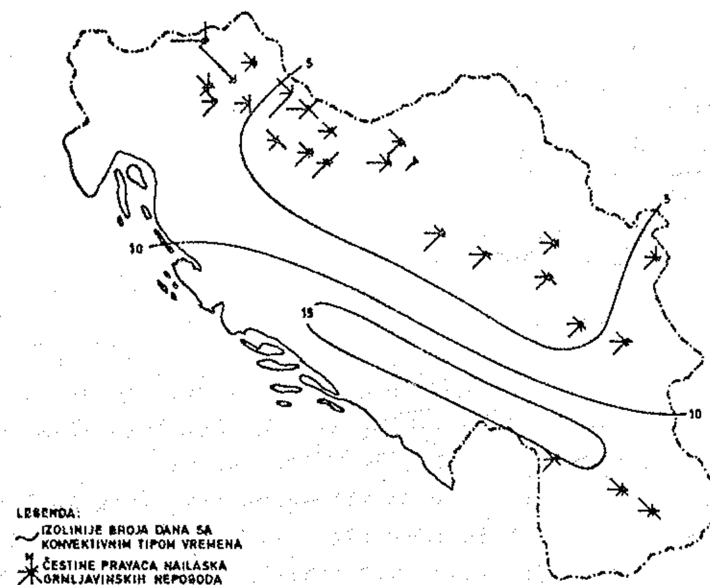
Uopšte se može reći da se grmljavinske nepogode pri konvektivnom tipu vremena javljaju na više mesta u centralnom delu zemlje, najčešće u popodnevnim časovima i šire se na sve strane, prvenstveno u pravcu dolina i preovladjujućeg vetra na visini.

Na sl.4.38. je prikazana karta Jugoslavije sa raspodelom broja dana sa konvektivnim tipom vremena i ružom prodora vazdušnih masa.

Najviše toplotnih nepogoda bez advekcije ima u oblastima planina sa težištem u južnom delu Dinarskih planina i u Makedoniji. Srazmerno mnogo ih ima i na srednjem i južnom primorju.

Putanje grmljavinskih nepogoda mogu se posmatrati i prema radarskim podacima. Ovde će se analizirati karakteristična

stanja kada su protivgradni poligoni u Hrvatskoj i Srbiji pratili grmljavinske nepogode u toku 1971. godine (SHMZ,1973).



Sl.4.38. Pravci nailaska grmljavinskih nepogoda i raspodela konvektivnog tipa vremena

Lako je videti iz sl.4.38. da se u toku godine od ukupnog broja dana sa nepogodama najčešće javljale nepogode iz NW-W-SW kvadranata (severozapad, zapad i jugozapad).

Uzimajući u obzir i čestine javljanja grmljavinskih nepogoda pri prodorima vazdušnih masa može se zaključiti da su za veći deo naše teritorije nailasci grmljavinskih nepogoda najučestaliji iz zapadnog kvadranta. Izuzetak su mikroreoni u kojima lokalni uslovi mogu da izmene ovu opštu sliku preovladjujućeg pravca.

Na teritoriji SR Srbije, kao što je pomenuto, sistematski se prate i odredjuju radarske karakteristike kumulonimbusa: azimut, visina vrha radio-eha oblaka (Hv), visina položaja dela oblaka sa maksimalnim intenzitetom ($H_z$max), visina zone akumulacije (Hvz) i maksimalni intenzitet odraza (log z max). Dobijene su sledeće karakteristike pri grmljavinskim nepogodama (S.Maksimović, 1972. i M.Mioković, 1975):

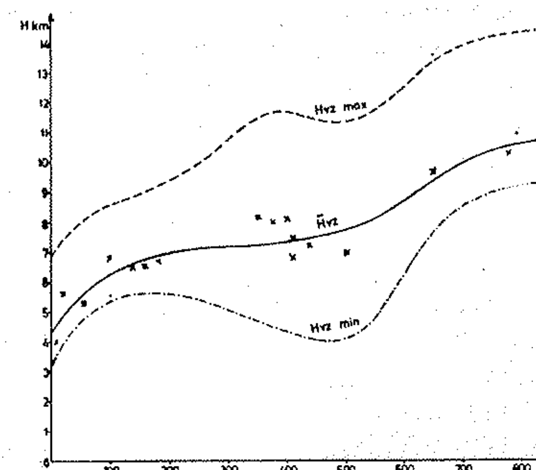
Radarske karakteristike	Najčešća vrednost u km	Minimum	Maksimum
1. Visina vrha radio-eha (Hv)	9.0-10.0	4.0	16.0
2. Maksimalni intenzitet (Log ZMAX)	4.1-4.5	2.0	6.5
3. Položaj dela oblaka sa maksimalnim intenzitetom ($H_z$max)	4.0	2.0	9.0
4. Položaj oblasti pojačanog intenziteta-zona akumulacije (H_{vz})	6.0	3.0	10.5
5. Debljina oblaka (H)	7.0-8.0	3.0	14.5

Od ukupnog broja osmotrenih kumulonimbusa za uporednu analizu izdvajaju se izolovani kumulonimbusi koji se zadržavaju u mernom području brojača više časova.

Odnos izmedju radarskih karakteristika izolovanih kumulonimbusa i broja atmosferskih električnih pražnjenja detektovanih brojačem daju različite rezultate. Za više karakteristika ne može se utvrditi neka zakonitost. Medjutim, za odnos broja pražnjenja i visine zone akumulacije (Hzv) a takodje i visina dela oblaka sa maksimalnim intenzitetom ($H_z$max), praćena je uzajamna veza pri njihovim promenama (S.Plazinić i N.Miljković,1975).

Na slici 4.39. priakazan je odnos broja pražnjenja i visine zone akumulacije. Pod zonom akumulacije podrazumevamo prostor u ćeliji kumulonimbusa u kojem je došlo do veće koncentracije hidrometeora. Broj pražnjenja se povećava sa povećanjem visine zone akumulacije iznad zemljine površine. Ovo povećanje broja pražnjenja ide do izvesne visine koja je ispod 10 km.

Navodeći radove Kitnera (1950) i Šanfelda (1960), Mejson (1971) primećuje da postoji više teorija o korelaciji izmedju postanka hidrometeora u kumulonimbusu i broja pražnjenja, ali da sve ove prihvataju da "nastanak i razvoj hidrometeora igraju vrlo važnu ulogu u postanku i razvoju naelektrisanja i da intenzivna električna pražnjenja prate intenzivni pljuskovi, krupa i sitan grad".



Sl.4.39. Odnos broja detektovanih pražnjenja (N) i visine zone akumulacije (Hvz)

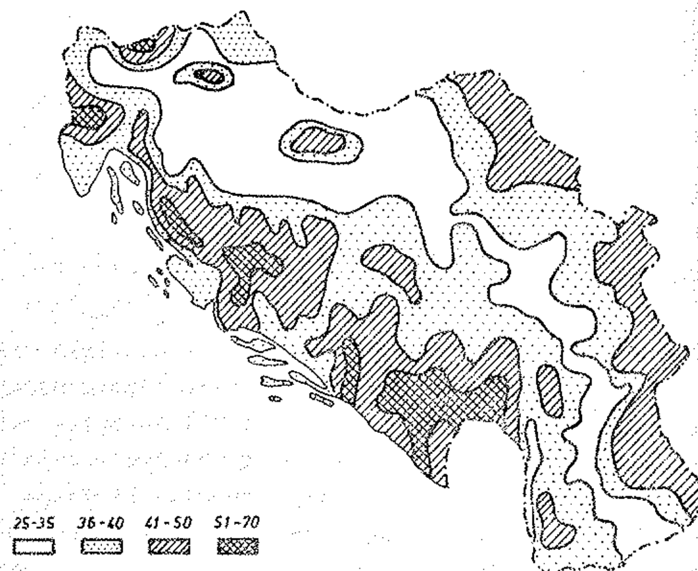
Energija nastabilnosti grmljavinskih oblaka vrlo je promenljiva u toku vremena i prostorno. Prema višegodišnjim ispitivanjima u Beogradu (D.Vukmirović,1973) energija nestabilnosti kod kumulonimbusa prosečno iznosi 900-1500 džula/kg vazduha. Medjutim, u toku noći veličina energije se menja od LOO do 1500 džula/kg vazduha, a danju dostiže visoke vrednosti od 1000 do 1600 džula/kg vazduha, što je prosečno veće za oko 1.5 puta nego noću.

4.5.2. Raspodela broja grmljavinskih dana i broja atmosferskih električnih pražnjenja u SFRJ i na Zemlji

Kako je izrada karata o raspodeli broja dana sa grmljavinom na teritoriji Jugoslavije predvidjena naučnim projektom "Atlas klime SFRJ" za preračunavanje broja pražnjenja na jedinicu površine poslužila je privremena karta o broju dana sa grmljavinom na teritoriji SFRJ.

Na sl.4.40. je karta SFRJ sa srednjim godišnjim brojem dana sa grmljavinama, za period 1948-1973. Na karti su polja sa različitim dijapazonima broja dana sa grmljavinama u godini:25-35, 35-40, 40-50 i 50-70. Oblasti sa velikim brojem

dana sa grmljavinama u toku godine, prosečno 50-70 dana, nalaze se uglavnom u planinskim krajevima. Tako se ovaj broj dana javlja u planinskim krajevima Julijskih Alpa i Karavanki, u Gorskom Kotaru, Velebitu, Dinari, dolini Neretve, u Crnoj Gori od Skadarskog jezera preko Lovćena, Durmitora, Sinajevine, Bjelasice, Komova i Prokletija sve do jadranskog mora.

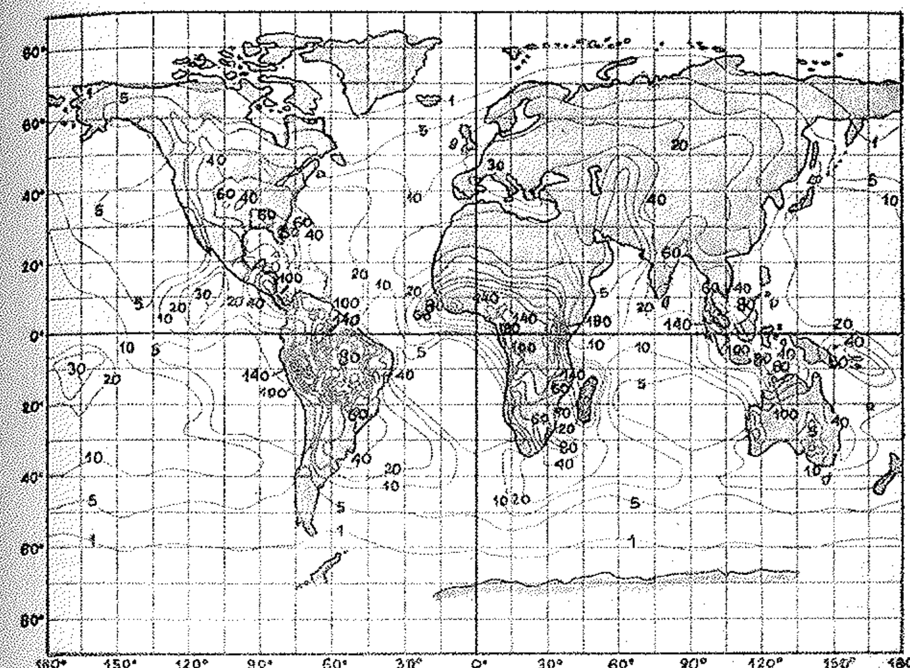


Sl.4.40. Raspodela broja dana sa grmljavinama u SFRJ

Karta o srednjem višegodišnjem broju dana sa grmljavinama na Zemlji prikazana je na sl.4.41. Ona ne daje pravu sliku o raspodeli broja dana sa grmljavinama na teritoriji Jugoslavije jer se zbog razmere karte ne mogu uočiti oblasti u planinskim krajevima sa velikim brojem dana sa grmljavinom. Medjutim, na karti se izdvajaju delovi kontinenata i oblasti sa najvećim brojem dana sa grmljavinama u toku godine. Preko 140 dana, pa čak i 180 dana u toku godine imaju oblasti u Južnoj Americi, Centralnoj Africi i na Indonežanskim ostrvima, u blizini Ekvatora.

Od Ekvatora prema Severnom, a naročito Južnom polu, broj dana sa grmljavinom naglo opada. Već na 60° stepenu južne

geografske širine, duž čitave zemljine površine, javlja se izolinija sa jednim danom sa grmljavinom u toku godine. Raspodela broja dana sa grmljavinom data je u vidu izolinija tzv. izokerauničkih nivoa.



Sl.4.41. Raspodela broja dana sa grmljavinama na Zemlji (prema Wood-u, 1969)

Da bi kartu o raspodeli broja dana sa grmljavinama mogli iskoristiti za izradu karte o raspodeli broja pražnjenja prema zemlji potrebno je prethodno ispitati odnos broja ukupnog pražnjenja koje se dešava u oblaku i izmedju oblaka i zemljine površine i njihovu zavisnost od geografske širine i fizičko-geografskih uslova.

Kako se u našoj zemlji koriste dve vrste brojača od kojih jedna detektuje sva pražnjenja u oblaku i izmedju oblaka i zemlje, a druga samo pražnjenja prema zemlji, potrebno je naći odnos:

$$Z = N_c/N_g$$

N_c-broj pražnjenja u oblaku ili izmedju oblaka, a N_g-broj

pražnjenja prema zemlji. Veličina (Z) zavisi od geografske širine (λ) i broja dana sa grmljavinama (T). Za izračunavanje (Z) u zavisnosti od λ i T koriste se sledeće empiričke formule (S.A.Prentice i D,Mackepras,1977):

$$Z(\lambda)=4.16+2.16\cos 3\lambda \qquad (4.25)$$

(formula se koristi za geografske širine od Ekvatora do 60 stepena),

$$Z(T)=1.0+0.063\,T \qquad (4.26)$$

(formula se koristi za oblasti u kojima je broj dana sa grmljavinama u toku godine veći od 10 a manji od 84).

Za oblasti ispod 60 stepena geografske širine može se koristiti sledeća empirijska formula:

$$Z(\lambda,T)=(4.16+2.16\cos 3\lambda)\left(0.6+\frac{0.4\,T}{72-0.98\lambda}\right) \qquad (4.27)$$

Osim izloženih formula za procenu broja pražnjenja prema zemlji u zavisnosti od geografske širine i broja dana sa grmljavinama, koristi se i sledeća formula (J.L.Marshall, 1973):

$$N_g=(0.1+0.35\sin\lambda)(0.40\mp 0.20) \qquad (4.28)$$

N_g-broj pražnjenja prema zemlji na 1 km² za jedan grmljavinski dan, λ-geografska širina mesta.

U tablici 4.7 pregledno su izloženi odnosi broja pražnjenja u oblaku i prema zemlji, godišnji broj dana sa grmljavinama, metodi merenja i geografski položaj stanice sa brojačem, za razne zemlje.

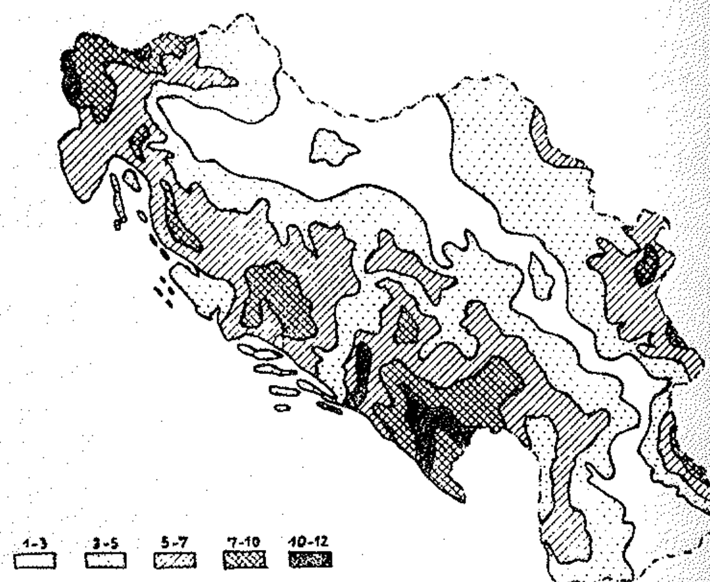
Koristeći izložene metode za analizu prostorne raspodele broja praženjenja, u prvom redu, metod uporedne analize broja pražnjenja i broja dana sa grmljavinom za različita fizičko-geografska područja u SR Srbiji i SR Sloveniji, zatim, podatke o radarskim osmatranjima i karte o broju dana sa grmljavinama, izradjena je karta o prosečnoj raspodeli godišnjeg broja pražnjenja prema zemlji na 1 km² (sl.4.42).

Na karti je lako videti da se veći broj pražnjenja prema zemlji javlja u onim krajevima Jugoslavije koji imaju i veći broj dana sa grmljavinom u toku godine. Prosečno najveći broj pražnjenja prema zemlji, u dijapazoju od 10-12 pražnjenja u toku godine, javlja se u planinskim krajevima zapadne Slovenije, dolini Neretve i u planinskim krajevima Crne Gore.

Tablica 4.7

Odnos broja pražnjenja u oblaku i prema zemlji

Zemlja i mesto osmatranja	nadmorska visina (m)	geografska širina i dužina		Metod merenja	Sred.višeg. br.dana sa grmljavinom	Odnos broja pražnjenja u oblaku i prema zemlji
1.SSSR:						
-Moskva	156	56° N	38° E	vizuelno	28	2.4
-Lenjingrad	4	60° N	30° E	promena el.polja i vizuelno	16	1.8
-Kiev	179	50° N	30° E	vizuelno	30	5.8
-Rostov	77	47° N	40° E	vizuelno	25	2.7
-J.Bajkal	1000	54° N	108° E	vizuelno	20	2.0
-Murmansk	46	69° N	33° E	vizuelno	5	0.9
2. SAD						
-Vašington-Oregon		43° N	123° W	vizuelno	25	1.6
-Miaula	2000-25000	47° N	116° W	vizuelno i promenom električnog polja	30	3.0
- -"-	-"-	"	"	promenom el.polja	30	1.5
- "	"	"	"	"	30	1.65
- "	"	"	"	"	30	3.8
- Novi Meksiko	-	35° N		vizuelno	47	1.6
3. JAPAN						
-Bepu	-	33° N	131° E	promenom el.polja	25	3.4
-Kijato	43	35° N	135° E	promenom el.polja	30	2.1
-Nebaši	-	36°	139° E	promenom el.polja	30	2.0
-Ganma Ken	113	37° N	139° E	promenom el.polja	30	3.0
4. VELIKA BRITANIJA						
-Kembridž	85	52° N	0	promenom el.polja	14	1.6
- "	"	"	"	promenom el.polja	14	1.7
5. JUŽNA AFRIKA						
-Somerset Ist	740	33° S	26° E	promenom el.polja	-	5.0
- " "	"	"	"	vizuelno	-	9.5
6. RODEZIJA						
-Salisburg	1500	18° S	31° E	promenom el.polja	65	2.2
-blizu Salisburga	1300	19° S	30° E	brojačem	65	5.5
7. SINGAPUR	11	2° N	104° E	promenom el.polja	171	5.0
8. NIGERIJA						
-Zarija	-	11° N	8° E	promenom el.polja	81	7.0
9. INDIJA						
-Bangalore	900	13° N	78° E	promena el.polja i brojačem	46	9.0
10. AUSTRALIJA						
-Brisben	8	27° S	153° E	vizuelno i brojačem	30	3.5
11. NOVI ZELAND						
-Oklend	25	37° S	174° E	promenom el.polja	15	2.7
12. ŠVAJCARSKA						
-Tesin	-	46° N	9° E	promenom el.polja	-	3.3
13.ŠVEDSKA						
-Upsala	15	60° N	18° E	promenom el.polja	11	1.9



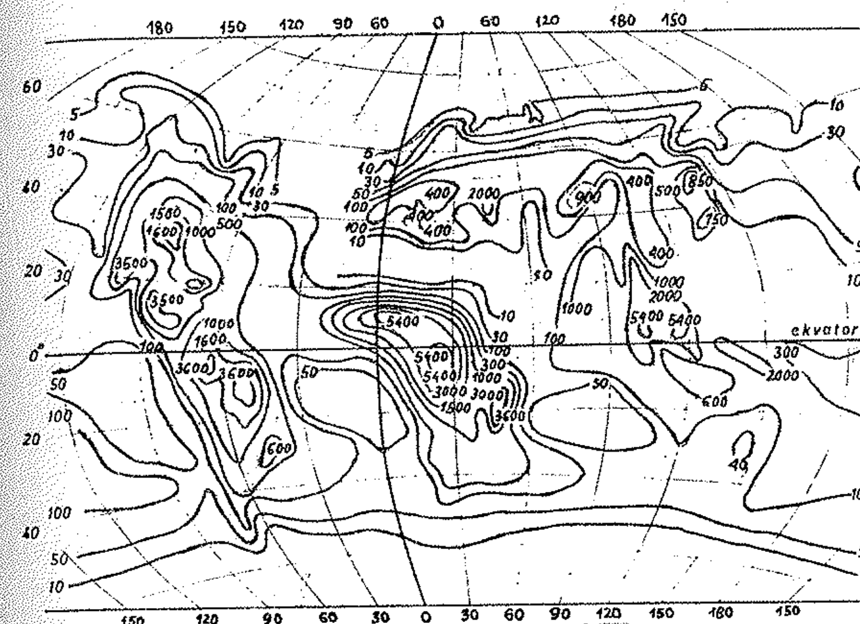
Sl.4.42. Raspodela broja atmosferskih električnih pražnjenja prema zemlji na 1 km² u SFRJ

Prosečan broj pražnjenja u dijapazonu od 7-10 javlja se u većem delu Slovenije, Gorskom Kotaru, Velebitu, Dinari, većem delu Crne Gore i u planinskim krajevima Bosne i Hercegovine, Istočne Srbije i Makedonije.

Kartu SFRJ o broju pražnjenja prema zemlji na 1 km² svakako treba smatrati opitnom. Metodiku izrade karte treba dalje usavršavati, naći empiričke odnose broja pražnjenja, nadmorske visine i geografske širine za naša fizičko-geografska područja. Neophodna je kompleksna analiza podataka o sistematskim osmatranjima i merenjima električnih pražnjenja pomoću brojača i podataka o radarskim osmatranjima grmljavinske aktivnosti. Takodje je potrebno povećati broj stanica i mernih punktova sa brojačima, naročito u planinskim krajevima SFRJ.

Srednja godišnja raspodela broja pražnjenja prema zemlji na 100 km² na Zemlji prikazana je na sl.4.43. Velika žarišta grmljavinske aktivnosti sa velikim brojem pražnjenja u toku godine javljaju se oko Ekvatora, Zapadnoj i Južnoj Africi, Indoneziji na ostrvima Jave, Sumatre, Borneu; u srednjoj i Južnoj Americi, na Bahamskim ostrvima, Kubi, Haitiju i Jamajci

na Floridi i u središnjim delovima SAD.



Sl.4.43. Raspodela srednjeg godišnjeg broja pražnjenja prema zemlji na 100km² (prema V.K.Kolokolovu,1966.)

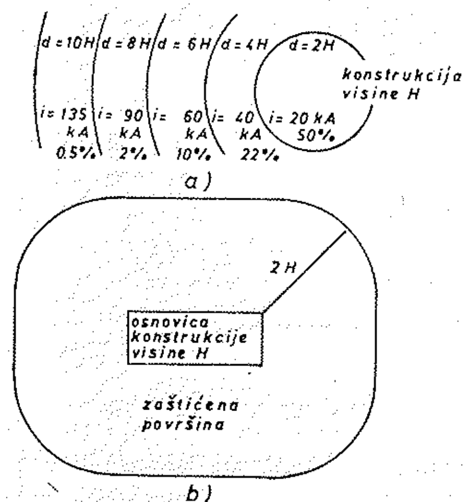
Prosečan godišnji broj pražnjenja u Evropi je vrlo promenljiv. U Srednjoj i Južnoj Evropi je oko 400 na 100 km², a u ostalim, naročito severnim delovima, znatno manji. Medjutim, raspodela broja pražnjenja za planinske oblasti Pirineja, Alpa i Balkanskog poluostrva ne može se na ovoj karti jasno uočiti.

4.6 Verovatnoća atmosferskog električnog pražnjenja (udara groma) u gradjevinske objekte i konstrukcije

Površine gradjevinskih objekata ili konstrukcija izložene su više-manje atmosferskim električnim pražnjenjima tzv. udaru groma.

Da li će atmosfersko električno pražnjenja nastati izmedju električnog polja u kumulonimbusu i izložene površine

gradjevinskog objekta ili konstrukcije ne zavisi samo od oblasti sa brojem pražnjenja na jedinicu površine u kojoj se ovi nalaze, već i od intenziteta pražnjenja, ekspozicije, oblika i visine objekta, kao i mnogih drugih geofizičkih karakteristika. Raspodela intenziteta pražnjenja najčešće se posmatra na izloženoj površini gradjevinskog objekta ili konstrukcije. Na sl. 4.44. je raspodela jačine struje pražnjenja i njene relativne čestine javljanja.



Sl.4.44. Izloženost gradjevinskog objekta ili konstrukcije: a)promena izloženosti sa rastojanjem, jačinom struje pražnjenja (i) i njenom relativnom čestinom javljanja,(b) prosečna površina objekta ili konstrukcije

Jačina struje pražnjenja se menja sa rastojanjem i u zavisnosti od visine (H) gradjevinskog objekta ili konstrukcije. Radijalno rastojanje se menja od 2 H do 10 H. Za procenu verovatnoće udara groma uzimamo osnovnu vrednost u intervalu radijalnog rastojanja 2 H, koja iznosi 50% za jačinu struje 20 kA.

Za izračunavanje izložene površine gradjevinskog objekta ili konstrukcije (I_p) visine (H), dužine (L) i širine (W) koristimo sledeću formulu (R.H.Gold, 1968):

$$I_p = LW + 4H(L+W) + 4H^2 \qquad (4.29)$$

Verovatnoću udara groma u gradjevinski objekat ili konstrukciju računamo na osnovu dobijene vrednosti o izloženoj površini (I_p) i broju pražnjenja prema zemlji na jedinicu površine (N_g) u području objekta ili konstrukcije.

Ukoliko ne raspolažemo kartom o broju pražnjenja na jedinicu površine, već o broju dana sa grmljavinom, prvo računamo broj pražnjenja u zavisnosti od broja dana sa grmljavinom

i geografskom širinom, a zatim izloženost objekta.

Za proračun broja atmosferskih električnih pražnjenja, odnosno udara groma u dalekovod koriste se empiričke formule. U toku desetogodišnjih ispitivanja Golda (R.H.Gold,1969), broj udara groma u dalekovod u zavisnosti od napona može se računati na sledeći način:

1) Za dalekovode 132 kV $N \sim T^{0.609}$
2) Za dalekovode 66 kV $N \sim T^{2.761}$
3) Za dalekovode 33 kV $N \sim T^{1.285}$
4) Za dalekovode 11 kV $N \sim T^{1.6}$

Za dalekovode ispod 11 kV koristi se odnos: $N \sim T^{2.060}$.

N-je broj udara groma u dalekovod, a T-broj dana sa grmljavinom.

Vrednost eksponenta je veća kada trasa dalekovoda prolazi kroz područja koja imaju manji broj dana sa grmljavinom. Da bi utvrdili vrednosti ovih eksponenata za različita područja, uglavnom se ispituje odnos broja pražnjenja prema zemlji registrovan brojačem i broja direktnih udara groma u dalekovod.

Detaljnije podatke o udaru groma u gradjevinske objekte i konstrukcije i iskustva u njihovoj zaštiti možemo naći u referatima sa medjunarodnih savetovanja o geoelektricitetu i gromobranima, a takodje i sa Savetovanja Jugoslovenskog komiteta za geoelektricitet i gromobrane (Niš.1968, Šibenik,1970. Portorož 1973., Arandjelovac, 1975.).

LITERATURA:

Berger K.: NOVEL OBSERVATIONS ON LIGHTNING DISCHARGES J.Franklin ins. No 6, June 1967.

Brooks, C.P.S.: THE DISTRIBUTION OF THUNDERSTORMS OVER GLOBE, Ocof.Men. No 24, London, 1925.

Čadež, M.: VREME U JUGOSLAVIJI, Prirodno matematički fakultet, Beograd, 1964.

Gallo,V. i Mezosi M.A. FIVE CHANNAL TRANZISTROIZED LIGHTINING COUNTER.XX Idojaras. I-II 1966.

Golde R.H.: THE FREQUENCY OF OCCURENCE AND THE DISTRITUBION OF LIGHTING FLASHES TO TRANSMISSION LINES, TAIEE 64.1945.

Golde R.H.: THEORETISHE BETRACHTUNGEN UBER DEN SCHUTZ VON BLITZABLEITEREN, ETZ 82, 1961.

Golde R.H: LIGHTINING PERFORMANCE OF BRITISH HIGH-VOLTAGE DISTRIBUTION SYSTEMS,Proce.JEE,Vol.113.No 4, 1966.

Djukovović D.: HIDROMETEOROLOŠKA AKTIVNOST U DOMENU ELEKTROPRIVREDNE PROBLEMATIKE ,Elektroprivreda, br. 11-12/1961.

Djukanović D.: O ATMOSFERSKOM ELEKTRIČNOM PRAŽNJENJU.I Savetovanje o eksploataciji dalekovodne mreže i trafostanica 110 i 220 kV Jugoslavije. Portorož, 1963.

Djukanović D.: GODIŠNJA IZOKERAUNIČKA KARTA SFRJ, Zajednica jugoslovenske elektroprivrede,Beograd, 1970.

Hitchinson W.C.A.: ATMOSPHERIC ELECTRICITY RESEARCH IN GREAT BRITAIN, IRELAND, AFRICA AND NEW ZELAND.Prob. Of. Atm. and Space Elec. New Jork,1965.

Horner F.: THE DESIGN AND USE OF INSTRUMENTS FOR COUNTING LOCAL LIGHTNING FLASHES, Proc. Just. El.Eng. 107, Part 8. No 34,1960.

Honiger E.: ZADATAK RADNE SKUPINE "BROJANJE MUNJE" U AUSTRIJI, J.K.G. Portorož,1973.

Imjanitov I.M. i dr. PRIBOR DLJA IZMERENII NAPRJAŽENOSTI POLJA ATMOSFERI V SLOŽENIH METEOROLOGIČESKIH USLOVIJAH, Izv. An.SSSR ser. geofiz. No 9,1956.

Imjanitov I.M. PRIBORI I METODI DLJA IZUČENIJA ELEKTRIČESTVA ATMOSFERI, Gostelizdat, Moskva, 1957.

Kimpara A.: ELEKTROMAGNETIC ENERGY RADIATED FROM LIGHTNING Probl.of.Atm. and. Space Elec.New Jork, 1965.

Kasemir H.W.: THE THUNDERCLOUD, Probl.Of. Atm. and Space Elec. New Jork, 1965.

Kolokolov V.P. i Simonova R. I METODIKA SOSTAVLJENIJA KART GROZOVIH RAZRJADOV, Trudi GGO, Vip. 1977, 1965.

Kolokolov V.P. i dr. OB UTOČENII METODIKI SOSTAVLJENIJA KART ČISLA GROZOVIH RAZRJADOV, Trudi GGO Vip.188, 1966.

Krapež D.: ATMOSFERSKA PRAŽNJENJA U SR SLOVENIJI, J.K.G Portorož 1973.

Kreielsheimer K.S. i Lodge-Osborn D. NEW DEVELOPMENT IN LIGHTING-COUNTER DESIGN, Proce. IEE, 118, No 1.Jan 1971.

Krulc Z.: PRILOG PROUČAVANJA UGROŽENOSTI OD MUNJE, J.K.G., Portorož 1973.

Kulijew A.D.: VJEROJATNOST UDARA MUNJE NA PODRUČJU AZERBEJĐANA, J.K.G., Portorož,1973.

Lidzar P.C.: POLUPROVODNIKOVIE GROZOREGISTRATORI, Trudi GGO Vip, 157,1964.

Loč B.Z.: DNEVNI HOD BROJA ATMOSFERSKIH PRAŽNJENJA,Trudi GGO, 1956.

Lugeon J.: RADIOMETEOROLOGIJA I PROGNOZA VREMENA,Arch. fur. Met. Geogr. und Bio. Ser A 3/1/2,1950

Mahotkin G.L. i Lidzar P.C. ORIJENTIROVNAJA OCENKA UDALJENOSTI PO AMPLITUDAMA ATMOSFERIKOV, Trudi GGO,VIp. 146, 1963.

Mahotkin G.L. OCENKA PARAMETROV AMPLITUDNOVO RASPREDELENIJA ATMOSFERIKOV GENERIRUEMIH IZOLOVANIM ISTOČNIKOM,Geomagnetizm i apstronomija, No 1,1964.

Mahotkin G.L. IZMENENIE SKAČKOV NAPRJAŽENOSTI ELEKTROSTATIČESKOVO POLJA V ZAVISIMOSTI OT RASTOJANIA DO GROZOVOVO RAZRJADA, Fizika atmosferi i okeana 1965.

Mahotkin G.L.: STATISTIČESKIE KARAKTERISTIKI AMPLITUD ATMOSFERIKOV, Trudi GGO, 1965.

Maksimović S.: ISPITIVANJE STRUKTURE GRMLJAVINSKIH OBLAKA UPOTREBOM METEOROLOŠKIH RADARA,J.K.G.,Portorož,1973.

Malan D.J.: RADIATION FROM LIGHTNING DISCHARGE PROCESS, Recent Adwances in Atmospheric Elektricity, 1958.

Malan D.J.: PHYSICS OF THE THUNDERSTORM ELEKTRIC CIRCUIT, J.Franklin Inst.No 6. june 1965.

Marchall J.L. LIGHTNING PROTECTION, J.Wiley and Sons, Inc. New Jork.1973.

Marinčić.: TESLIN DNEVNIK, IT-novine, 1974.

Mason B.J.: CHARGE GENERATION IN THUNDERSTORMS.Probl. of Atm. and Space Elec.New Jork.1965.

Mason B.J.: MECHANISM OF THE LIGHTNING FLASH, Elekctronic and Power, may 1966.

Mason B.J.: THE PHYSICS OF CLOUDS, Calderon Press, 1971.

Muhler i Hillebrund: EXPERIMENTS WITH LIGHTNING GROUND-FLASH COUNTERS, Eltehnik. 1964.

Muhleisen R.: STUDIEN ZUR GEWITTERELEKTRIZITAT. Austr.Inst. der. Univ. Tub. Arbeitsgruppe F.Physik der Atmosphere Weisnenau,1972.

Pašić H. i Volarić B.: OSMATRANJE ATMOSFERSKIH ELEKTRIČNIH PRAŽNJENJA DUŽ TRASE DALEKOVODA, Zajednica jugoslovenske elektroprivrede. 1969.

Plazinić S.: VEROVATNOĆA BROJA ATMOSFERSKIH ELEKTRIČNIH PRAŽNJENJA DUŽ TRASE DALEKOVODA. Zajednica juguslovenske elektroprivrede,1969.

Plazinić S. i Miljković N.: INSTRUMENTALNA OSMATRANJA GRMLJAVINSKIH NEPOGODA U MREŽI METEOROLOŠKIH STANICA U SR SRBIJI, J.K.G.Portorož,1973.

Plazinić S. i Miljković N.: PRILOG PROUČAVANJU RASPODELE BROJA ATMOSFERSKIH ELEKTRIČNIH PRAŽNJENJA NA TERITORIJI SFRJ. JKGG, Arandjelovac, 1975.

Popolansky F. LIGHTNING CURRENT MEASUREMENTS ON ELECTRIC HIGHVOLTAGE TRANSMISSION LINES (In Czech) Elektrotechnicky obzor 19. 1960.

Popolansky F.: KORELATION BETWEN THE NUMBER OF LIGHTNING FLASHES AND THUNDERSTORM DAYS. Ref.na kongresu CIGRE. Paris. 1967.

Pretince, S.A., Mackerras.D: THE RATIO OF CLOUD TO CLOUD -GROUND LIGHTNING FLASHES IN THUNDERSTORMS.Journal of applied meteorology may 1977. Vol. 16. No 5.

Pretince S.A.: CIGRE LIGHTNING FLASH COUNTER. Elektra, Paris 1972.

Schonland B.F.J.: ATMOSPHERIC ELEKTRICITY, Methuen London,1953.

Seemuler W.W, i Zegel F.N.: MODERN LIGHTINING DISCHARGE COUNTER WEATHER, Burean, ESSA Md. 1954.

Semenov K.A.: NEKATORIE REZULTATI ISPITANII GROZOREGISTRATOROV S MALIM RADIOUSOM DEISTVIJA,Trudi GGO Vip.157.,1964.

Sullivan A.W. i Wells J.A, A LIGHTING STROCKE COUNTER.Bul.Ame. Met.Soc.Vol.38, No 5 May 1957.

Tamura, Y.,T. Ogawa, and A.Okawati: THE ELEETRICAL STRUCTURE OF THUNDERSTORMS, J. Geomagnetism and Geoelectricity, 10:20-27,1958.

Taylor, W.L.: LIGHTNING CHARACTERISTICS AS DERIVED FROM SPHERICS, InS.C. Coroniti, (ed) "PROBLEMS OF ATMOSPHERIC AND SPACE ELECTRICITY" pp388-4o4 American Elsevier Publishing Company,New York. 1965.

Vonnegut, B.,C.B. Moore, R.P. Espinola, and H.H.Blau,Jr. ELECTRICAL POTENTIAL GRADIENTS ABOVE THUNDERSTROMS, J.Atmospheric Sci.,23:764-770,1966.

Williams, D.O., and M.Brook: MAGNETIC MEASUREMENT OF THUNDERSTORM CURRENTS, pt.1., Continuing Currents in Lightning, J.Geophys, 1963.

Wormell, T.W.: ATMOSPHERIC ELECTRICITY; SOME RECENT TRENDS AND PROBLEMS, Quart.J.Roy. Meterol.Soc.1953.

Uman, M.A.,: LIGHTNING, McGraw-Hill, Book Company, New York,1969.

TEHNIČKA METEOROLOGIJA I PROJEKTOVANJE

Kao što je u uvodu izloženo, tehnička meteorologija priprema meteorološku podlogu za potrebe projektovanja veoma različitih i raznovrsnih gradjevinskih objekata i konstrukcija ili njihovih elemenata. Meteorološka podloga sadrži, osim podataka o dodatnim opterećenjima usled vetra i zaledjivanja, i druge neophodne meteorološke i klimatološke podatke izmerene u mreži standardnih, glavnih (sinoptičkih) i običnih (klimatoloških) stanica. Koristeći se metodima meteorološke statistike višegodišnji rezultati ovakvih osmatranja se obradjuju, analiziraju i u vidu elaborata dostavljaju projektantskim organizacijama. Medjutim, ove meteorološke podloge nisu često puta potpune, naročito kada se radi o meteorološkim podacima neophodnim za projektovanje nekih specifičnih gradjevinskih objekata i konstrukcija ili njihovih elemenata, kao što su, naprimer, kablovski elektroenergetski vodovi, rashladni energetski termotornjevi, radio-relejne linije veze i dr. U ovakvim slučajevima tehnička meteorologija dopunjuje meteorološku podlogu podacima o uticaju meteoroloških parametara ali dobijenih na osnovu specifičnih merenja i ispitivanja na samoj lokaciji objekta ili trase. Zbog složenosti nekih zahteva projektanata za meteorološkim ispitivanjima tehnička meteorologija traži i posebna rešenja u vezi sa izradom pribora i instrumenata, njihovim postavljanjem ili načinom merenja. Kompleksna analiza prikupljenih podataka mora biti brižljivo sprovedena i što detaljnija, kako zbog metodike merenja, tako i zbog kratkog niza osmatranja.

U ovom delu tehničke meteorologije pokušano je da se izlože neki primeri o korišćenju meteoroloških podataka za potrebe projektovanja gradjevinskih objekata i konstrukcija.

5.1 Ekstremne temperature vazduha i tla za projektovanje nadzemnih provodnika dalekovoda i podzemnih elektroenergetskih vodova (kablovskih vodova)

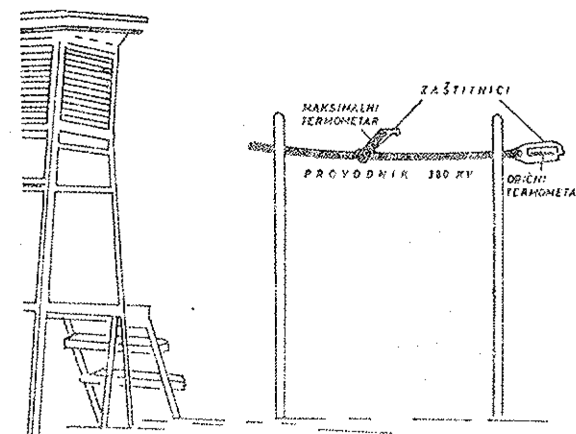
5.1.1. Maksimalna temperatura provodnika dalekovoda

Za potrebe projektovanja i izgradnje dalekovoda 380 kV vršena su uporedna merenja temperature vazduha u meteorološkom zaklonu i provodnika dalekovoda u slobodnom prostoru kako bi se utvrdila maksimalna temperatura provodnika duž projektovane trase dalekovoda. Ovde će se ukratko izložiti način merenja i analiza rezultata uporednih merenja temperature vazduha i provodnika.

Uporedna merenja su organizovana na meteorološkim stanicama Djerdap, Negotin, Niš, Knjaževac, Salaš, Minićevo, Crni Vrh i Brza Palanka.

Provodnik dalekovoda koji ima prečnik 3 cm postavljen je na rasponu podignutom u meteorološkom krugu stanice. Provodnik je orijentisan približno pravcu pružanja trase dalekovoda i na visini zaklona. Osmatranja su vršena u časovnim terminima.

U samom provodniku ugradjena su dva termometra: obični i maksimalni, a očitavanja su vršena u istim terminima kada i u zaklonu. Ugradnja termometra u provodnike brižljivo je sprovedena kako bi rezervoari termometra bili u potpunom spoju sa provodnikom, a istovremeno zaštićeni specijalnim zaštitnicima



Sl.5.1. Uredjaj za merenje temperature provodnika na meteorološkoj stanici

od direktnog sunčevog zračenja.

Za analizu podataka o maksimalnoj temperaturi vazduha za svaku stanicu obradjen je višegodišnji materijal.

Istovremena uporedna merenja temperature vazduha i provodnika u slobodnom prostoru ukazuju da postoje velike razlike u dnevnom hodu. Najveće su u popodnevnim časovima, a najmanje u jutarnjim. Prosečne razlike u letnjim popodnevnim časovima iznose od 5-10°C, a u pojedinim slučajevima i do 20°C.

Uopšte se može reći da su promene temperature provodnika u toku dana, sezone i godine uslovljene kako meteorološkim tako i fizičko-geografskim uslovima. Postoje znatne razlike u temperaturi provodnika duž trase dalekovoda kada dalekovod prolazi kroz planinske, brdovite ili ravničarske terene, ili, ako je neki deo trase zaklonjen gradjevinskim objektima, visokim šumskim drvećem i sl. Kompleksnija analiza sa podacima o trajanju sijanja i intenzitetu sunčevog zračenja, oblačnosti, padavinama, atmosferskim pojavama i dr. meteorološkim elementima i pojavama, i temperaturi provodnika, posebno za svaki lokalitet trase dalekovoda, svakako da bi pružila potpuniju sliku o maksimalnoj temperaturi provodnika koja se može javiti na trasi. Nažalost, najčešće zbog zahteva projektanata (i hitne izgradnje dalekovoda) često se mora u vrlo kratkom vremenskom roku doći do podataka o maksimalnom zagrevanju provodnika duž trase dalekovoda. U tom cilju, vrše se istovremena uporedna merenja temperature vazduha i provodnika i traže diferencije, kako bi se utvrdile prosečne razlike pri visokim temperaturama vazduha i provodnika.

Analizirajući podatke posebno za svaku stanicu na trasi dalekovoda Djerdap-Niš došlo se do sledećih zaključaka:

1. Na stanici Djerdap, koja se nalazi u neposrednoj blizini Dunava, na otvorenom terenu, bez okolnih zgrada i većeg šumskog kompleksa, rezultati pokazuju sledeći dnevni hod. Temperatura provodnika je u jutarnjim časovima (oko 07 čas) uvek viša od temperature vazduha i to za 0.6° do 1.0°C. U popodnevnim časovima je temperatura provodnika znatno viša nego u zaklonu, čak i za 4 do 6° dok je u večernjim časovima uvek niža od temperature vazduha prosečno za 0.5° do 0.6°C.

Maksimalna razlika izmedju temperature provodnika i

vazduha zabeležena je u najtoplijem danu u periodu merenja i to u popodnevnim časovima kada je iznosila 10.7°C. Apsolutna maksimalna temperatura provodnika u periodu merenja iznosila je 40.8°C.

2. Na stanici u Brzoj Palanci, koja se nalazi na kraju naselja, na jugoistočnim padinama obraslim vegetacijom, zabeleženi su sledeći podaci: u jutarnjim časovima temperatura provodnika veća je od temperature vazduha prosečno za 0.1° do 0.3°C, dok je u septembru ova prosečno niža od 0.1°C. Medjutim, u ovim mesecima u popodnevnim časovima temperatura provodnika viša je od temperature vazduha za 9 do 11°C. Već u večernjim časovima, osim u julu mesecu, kada je zabeležena viša temperatura provodnika za 0.5°C. U vrelim danima, pri vedrom nebu i bez vetra zabeležene su najveće razlike temperature u popodnevnim časovima; tada su iznosile uvek preko 15°C. Maksimalna razlika je iznosila 20°C. U avgustu mesecu, pri anticiklonalnoj situaciji, vedrom nebu i bez vetra, zabeležen je maksimum temperature vazduha i maksimum temperature provodnika, ovaj poslednji iznosi 48.0°C

3. Na stanici u Negotinu, koja se nalazi u ravnici i u prigradskom naselju, dobijeni su sledeći rezultati merenja u toku letnjih meseci. U svim ovim mesecima, u 07 čas. temperatura provodnika bila je prosečno viša od temperature vazduha za 0.8°C. Već u 14 čas ova se razlika povećala prosečno za 6°. Najveće razlike su se javile u popodnevnim časovima, tako da je najveća razlika iznosila 12°C. Apsolutni maksimum temperature provodnika iznosio je 44.1°C, pri temperaturi vazduha 32.4°C. Maksimum temperature provodnika zabeležen je pri anticiklonalnoj situaciji, kada je bilo potpuno vedro i bez vetra.

4. Uporedna merenja temperature provodnika i temperature vazduha, vršena na stanici u Salašu, koja se nalazi na brdovitom terenu, na ograncima planine Deli Jovan, ukazala su na sledeće razlike u dnevnom hodu. Temperatura provodnika u 07 čas uvek je bila viša nego temperatura vazduha prosečno za 2°C. Medjutim, u 14 čas razlike su se povećale, ali znatno manje nego na stanicama u ravničarskim krajevima. Ovde je zabeležena maksimalna razlika od svega 10°C, i to pri apsolutnom maksimumu temperature vazduha, a provodnika 42.5°C. U večernjim časovima

temperatura provodnika bila je niža od temperature vazduha prosečno za 6°C.

5.Na planinskoj stanici na Crnom Vrhu, koja se nalazi na visini 860 m, vršena su istovremena merenja temperature provodnika i vazduha i dobijeni sledeći rezultati. U jutarnjim časovima temperatura provodnika bila je uvek nešto viša od temperature vazduha prosečno za 5°C, kao i na stanici u selu Salašu. Medjutim, u 14 časova temperatura provodnika bila je viša prosečno samo za 3°C, mada je najveća razlika iznosila 12°C. U večernjim časovima ove razlike su znatno manje, prosečno 0.3°C.

6. Osmatranja temperature provodnika na stanici u Zaječaru,koja se nalazi u predgradju ovog grada, u ravnici,ali na terenima sa obraslom vegetacijom, dala su sledeće rezultate. U 07 časova, u toku čitavog leta, zabeležena je nešto viša temperatura provodnika nego vazduha (prosečno 4°C). U lo časova razlika se povećavala (preko 6°C), u 21 čas temperatura provodnika uvek je bila niža od temperature vazduha. Medjutim, u toku jesenjih meseci dnevni hod temperature provodnika imao je drukčiju raspodelu. U jutarnjim časovima razlike su se smanjivale, tako da su iznosile prosečno 1 do 2°C, a u 14 časova prosečno 4°C.

Najveća razlika zabeležena je u 14 časova u najtoplijem danu: temperatura provodnika iznosila je 41.2°C pri temperaturi vazduha 34.5°C.

7. Osmatranja u Minićevu vršena su na meteorološkoj stanici koja se nalazi u naseljenom mestu, u široj planinskoj kotlini izmedju Stare Planine i Tupižnice. Osmatranja su vršena u toku tri letnja meseca. Rezultati pokazuju da su i na ovom mernom punktu temperature provodnika bile više od temperature vazduha ujutru i u podne, a niže u večernjim časovima. Razlike su u proseku veće u jutarnjim časovima oko 3°C, u podne oko 9°C, a uveče za oko 1°C.

Najveća razlika osmotrena u letnjem periodu iznosila je 16.6°C. Apsolutna maksimalna vrednost temperature provodnika bila je 43.8 C, pri temperaturi vazduha 34.6°C.

8. Rezultati merenja na meteorološkoj stanici u Knjaževcu,koja je u sličnim fizičko-geografskim uslovima kao i

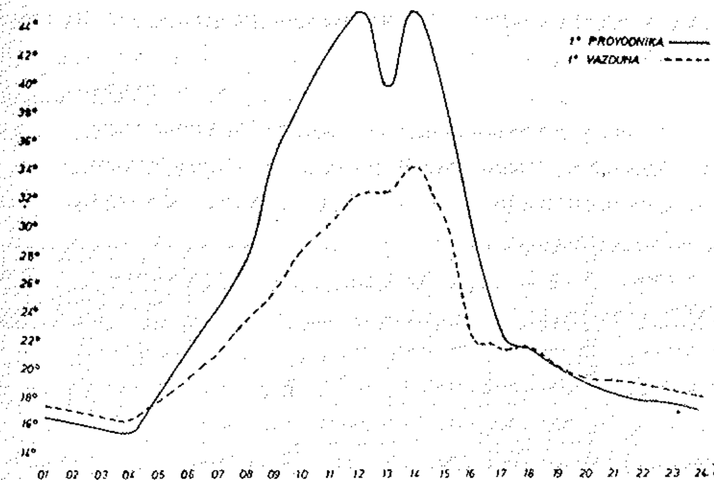
Minićevo, pokazali su da su temperature provodnika u proseku oko 4°C više od temperature vazduha ujutro, i za oko 8°C u podne, a da su uveče niže u proseku za oko 1.7°C.

Najveća osmotrena razlika zabeležena je u julu,i iznosila je 17.8°C.

Apsolutna maksimalna vrednost je 44.0°C pri temperaturi vazduha od 33.5°C (u avgustu mesecu).

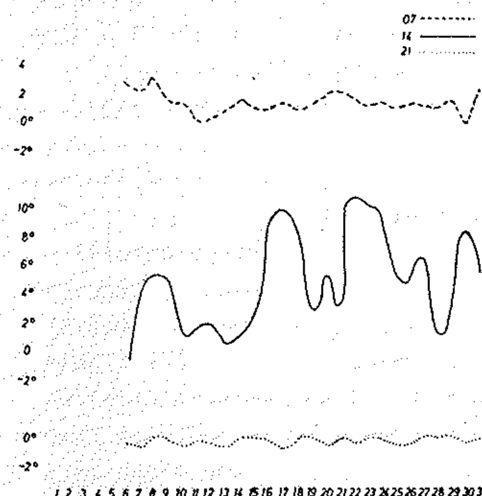
9. Rezultati osmatranja na meteorološkoj stanici u Nišu, koja se nalazi u centru grada, pokazuju sledeće razlike izmedju temperature provodnika i temperature vazduha: ujutro su temperature provodnika više u proseku za oko 3.0°C u julu, 2.4°C u avgustu, i 0.8°C u septembru. U popodnevnim časovima su u proseku više za 6-8°C, a uveče su niže za 0.8°C od temperature vazduha. Najveća temperaturna razlika zabeležena je u julu mesecu u 14 časova i iznosila je 12.8°C.

Apsolutna maksimalna temperatura provodnika na stanici u Nišu bila je 44.8°C dok je istovremeno temperatura vazduha iznosila 35.1°C. Na sl.5.2. su prikazane promene temperature



Sl.5.2 Promene temperature provodnika i vazduha

provodnika i vazduha u toku najtoplijeg dana, 15. avgusta 1969. a na sl.5.3. odstupanja temperature vazduha izmerene u zaklonu i na provodniku za 07. 14 i 21 čas.



Sl.5.3. Razlika temperature provodnika i vazduha u 07,14 i 21 čas

Višegodišnja osmatranja maksimalne temperature vazduha i podaci uporednih merenja omogućili su da se procene maksimalne temperature provodnika koje se mogu očekivati na projektovanoj trasi DV 380 kV Djerdap-Niš. Tako je dobijeno za:Djerdap 47.8°C;Brzu Palanku 54.6°; Negotin 52.1°;Salaš 47.1°; Crni Vrh 38.8°;Zaječar 48.3°; Knjaževac 47.9°; Minićevo 47.7°; Niš 51.9°.

U tablici 5.1 prikazane su apsolutne mesečne maksimalne temperature vazduha i apsolutni maksimum temperature provodnika i njihove razlike za svaku stanicu duž trase DV 380 kV Djerdap-Niš.

Tablica 5.1

Apsolutne mesečne maksimalne temperature vazduha i apsolutni maksimum temperature provodnika na trasi DV 380 kV Djerdap-Niš

STANICA \ MESEC	JUL	DATUM	AVGUST	DATUM	SEPTEMB.	DATUM	APSOL. MAKS. TEMP. VAZD.	DATUM	APSOLUTNI MAKSIMUM TEMPERATURE PROVODNIKA	RAZLIKE TEMPERATURE PROVODNIKA-VAZDUHA
ĐERDAP	31.5	28	32.0	16	29.2	3	32.0	16-VIII-	40.8	8.8
BRZA PALANKA	32.6	27	32.8	16	31.4	2	32.8	16-VIII-	48.0	15.2
NEGOTIN	32.4	27	32.3	16	30.8	2	32.4	27-VII-	44.1	11.7
SALAŠ	31.0	28	33.0	16	29.5	2	33.0	16-VIII-	42.5	9.5
ZAJEČAR	31.4	28	34.5	16	30.6	3	34.5	16-VIII-	41.2	6.7
MINIĆEVO	31.0	27	34.6	16	32.0	4	34.6	16-VIII-	43.8	9.2
KNJAŽEVAC	31.2	27	35.5	16	34.0	4	35.5	16-VIII-	44.0	8.5
NIŠ	30.5	8	35.1	16	32.5	4	35.1	16-VII-	44.8	9.7

5.1.2 Ekstremne temperature tla za potrebe projektovanja podzemnog kabla

Za potrebe projektovanja podzemnih elektroprenosnih sistema (kablova) koriste se podaci o višegodišnjim merenjima temperature zemljišta (tla) u različitim dubinama.

Merenje temperature tla na meteorološkim stanicama vrši se na usvojenim dubinama, 10, 20, 50 i 100 cm, ali se za razne potrebe mogu vršiti i na drugim dubinama. Za potrebe poljoprivrede i šumarstva zavedena su i osmatranja na samoj površiti tla, tako i na dubinama od 2,5 i 30 cm.

Merenje temperature tla do dubine od 50 cm vrši se redovno tri puta na dan i to u 07,14 i 21 čas po mesnom vremenu, a na većim dubinama samo jedanput dnevno i to u 14 časova po mesnom vremenu. Za potrebe može se na manjim ili većim dubinama vršiti merenje temperature tla i u neko drugo vreme.

Za potrebe projektovanja podzemnih električnih provodnika kablova koriste se podaci o temperaturi tla na dubinama 30, 50, 100, 130, 150, i 200 cm, a osmotreni u klimatološkim terminima. Merenje temperature tla na meteorološkim stanicama vrši se u zemljištu koje se hemijski ne analizira, ali se instrumenti najčešće postavljaju u zemljištu koje odgovara fizičko-geografskim uslovima tla čitavog područja.

Ukratko će se izneti, primera radi, kako se mogu koristiti podaci o temperaturi tla za potrebe projektovanja podzemnog kabla za prenos električne energije. Trasa podzemnog kabla za prenos električne energije prolazi kroz centralni deo grada Beograda, prelazi reku Savu i završava se kod trafo-stanice koja se nalazi u predgradju grada. Za delove trase koji prolaze kroz beogradsko zemljište obradjeni su podaci o višegodišnjoj temperaturi tla sa beogradske opservatorije. Medjutim, za deo trase koji prolazi preko savskog mosta vršena su uporedna merenja temperature vazduha u kanalu na mostu i na meteorološkim stanicama Zemun Polje i Surčin Aerodrom. Naime, temperatura tla na raznim dubinama meri se na više mesta na širem području grada Beograda. Medjutim, za potrebe projektovanja podzemnog kabla od TS u Hilendarskoj ulici do TS na Novom Beogradu najpogodnije je bilo koristiti podatke o temperaturi tla izme-

rene na meteorološkoj opservatoriji u Beogradu i Agrometeorološkoj stanici u Zemun Polju. Ove dve stanice imaju najduže nizove osmatranja i vrše merenja temperature tla u približno sličnim gradskim, odnosno prigradskim uslovima zemljišta. Da bi se procenile ekstremne temperature vazduha u kanalu kroz koji će ići kabl vršena su sistematska i neprekidna uporedna merenja temperature vazduha u kanalu na mostu gde su postavljeni instrumenti za merenje temperature vazduha.

Nizovi osmatranja temperature tla najčešće nisu homogeni ni u pogledu dubina, a ni smeštaja termometara. Tako prilikom uporedjenja temperature tla istog meseca na raznim dubinama treba imati u vidu da se ne radi o simultanim vrednostima, već se ekstremi na pojedinim dubinama javljaju u raznim godinama. Maksimalna vrednost gradijenta u površinskom sloju na području Beograda se javlja početkom juna, a minimalna, koja je po apsolutnoj vrednosti nešto veća, sredinom decembra. Maksimum je u najdubljem sloju pomaknut na sredinu avgusta, a minimum na sredinu februara, pa u odnosu na najviši sloj zemljšta zaostaju preko dva meseca. Njihove vrednosti su dva do tri puta niže nego u sloju do 50 cm (B.Dobrilović,1957).

Radi primera se prikazuju tablice 5.2 i 5.3. o apsolutnoj maksimalnoj i minimalnoj temperaturi zemljišta.

Tablica 5.2

Apsolutne maksimalne temperature zemljišta u letnjim mesecima

Dubina u cm / Meseci	30	50	100	130	150	200
ZA BEOGRAD						
J u n	28.2	25.1	20.8	18.2	17.7	15.8
J u l	28.6	25.8	22.6	21.0	20.1	17.9
Avgust	28.2	26.0	23.5	22.2	21.5	19.3
ZA ZEMUN POLJE						
J u n	28.4	26.6	21.4	19.5	18.3	16.0
J u l	28.8	27.3	22.4	20.1	18.9	16.5
Avgust	28.2	26.4	23.8	22.5	21.6	19.5

Tablica 5.3

Apsolutne minimalne temperature zemljišta u zimskim mesecima

Dubina u cm / Meseci	30	50	100	130	150	200
ZA BEOGRAD						
Decembar	0.1	1.6	4.2	5.9	7.0	9.6
Januar	-4.9	-2.5	1.5	3.5	4.7	8.0
Februar	-2.9	-1.3	1.6	3.2	4.1	6.7
ZA ZEMUN POLJE						
Decembar	1.2	2.7	7.3	8.3	9.0	10.8
Januar	-2.5	-1.7	3.5	5.3	6.4	9.3
Februar	-0.8	-0.4	3.6	5.3	6.1	8.8

Amplituda na 30 cm, kod apsolutnih ekstremnih temperatura, veća je skoro tri puta od amplitude srednjih mesečnih vrednosti na istim dubinama, mada ovde one nisu iznete. Zbog toga je za procenu ekstremnih temperatura tla, pri postavljanju kabla potrebno uzeti u razmatranja apsolutne ekstremne temperature za što veći niz osmatranja, a ne samo njihove srednje vrednosti ili srednje mesečne vrednosti.

Pored ekstremnih temperatura na dubini od 130 cm,tj. na dubini polaganja kablova, date su i vrednosti na ostalim dubinama, s obzirom da kabl mora prolaziti na nekim delovima trase i na različitim dubinama.

Prema prikazanim podacima, apsolutni ekstremi temperature zemljišta za dubinu postavljanja kabla su sledeći:

a) Za deo trase kroz centralni deo grada (Beograd-Vračar):

-apsolutna maksimalna temperatura zemljišta za dubinu 130 cm je 22.2°C,

-apsolutna minimalna temperatura zemljišta za dubinu 130 cm je 3.2 °C.

b) Za deo trase kroz predgradje grada (Z.Polje):

-apsolutna maksimalna temperatura zemljišta za dubinu 130 cm je 22.5°C,

-apsoltuna minimalna temperatura zemljišta na dubini 130 cm je 5.3°C.

Trasa kabla prolazi kroz zemljište raznog hemijsko-mineraloškog sastava i razne mehaničke strukture. Poznato je da toplotne osobine zemljišta pored hemijsko-mineraloških sastava zavise i od rastresitosti i vlažnosti zemljišta, kao i biljnog pokrivača na tlu, zatim da li je na površini asfalt, kamen i sl. Zbog toga je vrlo teško detaljnije izložiti o raspodeli temperature tla duž čitave trase.

Uopšte se može reći, da se porastom vlažnosti zemljišta povećava toplotna provodljivost zemljišta, a smanjuje otprosnot zemljišta. Ukoliko je zemljište rastresito i ispresecano porama i u njima povećana količina vlažnosti toplotna provodljivost zemljišta se smanjuje.

Sve ove osobine utiču da se za neke vrste zemljišta njihove toplotne karakteristike mogu znatno izmeniti, čak i do 100%.

Pošto se vlažnost tla menja sa dubinom, menja se sa dubinom i stepen gustine zemljišta. S ovim u vezi su i promene zapreminske specifičnosti toplote i toplotna provodljivost zemljišta. Karakter ovih promena u raznim slučajevima može da bude vrlo različit.

Prema radu P.Vujevića (1909.) izračunato je da se dnevno kolebanje temperature u beogradskom tlu oseća do dubine od 65 cm, a u godišnjem hodu i do dubine 13.5 m. Ovo je važan podatak s obzirom da se kabl postavlja na dubini od 130 cm i da dnevna kolebanja neće imati uticaja. Bilo bi korisno pomenuti i sledeće.

Peščana zemljišta se zagrevaju brže, što se objašnjava njihovom manjom specifičnom toplotom i lošim propuštanjem vode. Glinasta zemljišta imaju veću specifičnu toplotu od peščanih. Količina vlage veća je u glinastim slojevima, pa se znatan deo toplote troši na isparavanje. Pesak se manje zagreva od krečnjaka, jer ovaj poslednji ima veću specifičnu toplotu. Travni pokrivač ima veću specifičnu toplotu od peska i humusnog zemljišta pa je njegov uticaj na dnevna i godišnja kolebanja znatan.

Kao što je već izloženo, na starom savskom mostu odredjeni su merni punktovi gde su postavljeni instrumenti za merenje temperature vazduha u kanalu za postavljanje kabla. Merni punktovi se nalaze na stubovima i na kopnu. Ukupno je bilo osam mernih punktova. Radi dobijanja detaljnijih podataka sa svake strane mosta postavljeni su registrirni instrumenti.

Časovne vrednosti ekstremnih temperatura izmerene na starom savskom mostu uporedjene su sa časovnim vrednostima ekstremnih temperatura izmerenim istovremeno na Meteorološkoj opservatoriji. Isto tako, sa podacima opservatorije uporedjeni su dnevni hodovi časovnih vrednosti temperature za 1969.

Ne ulazeći u detale analize o izmerenim vrednostima u kanalu za postavljanje kabla duž mosta, istaknimo da su dobijene različite ekstremne temperature duž kanala iznad desne i leve obale, i iznad reke. Tako, maksimalne vrednosti temperature po mesecima za desnu obalu reke (beogradsku stranu mosta) iznose: u julu 32.6°C (31.7), u avgustu 32.8° (32.6) i septembru 31.0°C (29.1); za levu obalu (zemunsku stranu mosta) u julu 31.7, u avgustu 31.4 (32.6) i septembru 27.8°C (29.1).

Minimalne vrednosti temperature po mesecima iznose: za desnu obalu (beogradsku stranu mosta) u julu 13.0°(10.2), avgustu 12.5° (10.4) i septembru 11.1°C (8.5), za levu obalu (zemunsku stranu mosta) u julu 13.6°(10.2), avgustu 13.3°C (10.4) i septembru 10.7°C (8.5).

U zagradi su ekstremne temperature vazduha po mesecima izmerene na meteorološkoj stanici istovremeno kad i temperatura vazduha u kanalu.

Treba primetiti da je deo kanala na desnoj obali više na kopnu nego deo kanala na levoj obali.

Radi praćenja dnevnog hoda časovnih vrednosti temperature izradjuju se tzv. radni grafikoni iz kojih je lako uočiti hodove temperature vazduha na mostu i okolnim stanicama.

Na sl.5.4. su apsolutni maksimumi temperature u kanalu za leto 1969. Pored apsolutne maksimalne temperature vazduha u kanalu daju se i apsolutne maksimalne temperature konstrukcije u kanalu. Vrednosti su dobijene sa nekoliko maksimalnih termometara koji su bili postavljeni tako da su rezervoari dodirivali dno u kanalu. Vrednosti apsolutnih

Sl.5.4. Apsolutni maksimum temperature vazduha u kanalu, za leto 1969.

maksimuma temperature dna u kanalu (konstrukcije) nešto su niže od apsolutnih maksimuma temperature vazduha u kanalu.

Izdvojena su i merna mesta koja su iznad vodenih površina ili blizu njih i ona na kopnu. Negativne vrednosti diferencije dobijene su za merna mesta koja su iznad ili u blizini vodene površine, a pozitivne za kopno. Uzimajući ovo u obzir srednje razlike za svako merno mesto duž kanala na mostu iznosile su:

Merna mesta	Obala beogradske str.	1	2	3	4	5	6	Obala zemunske strane
Srednja diferencija	0.9	0.7	-0.8	-0.9	-0.9	-0.8	-0.6	0.0

Mogu se uporediti i vrednosti apsolutnih maksimuma temperature vazduha u kanalu na starom savskom mostu sa apsolutnim višegodišnjim maksimuma temperature vazduha za Meteorološku opservatoriju, Zemun-Aerodrom i Surčin-Aerodrom:

Meteorološka opservatorija (period:1940-1969) 42.1
Surčin-Aerodrom (period 1964.-1969.) 32.8
Zemun-Aerodrom (period 1947.-1961.) 41.8

Stari savski most:
a) beogradska strana 34.2
b) zemunska strana 33.9

Uzimajući godišnje maksimume temperature vazduha okolnih stanica i podatke izmerene na mostu dobijena je raspodela apsolutnog maksimuma temperature vazduha u kanalu na mostu.

Da bi se dobila raspodela minimalne temperature tla duž trase kablovskog voda obradjeni su podaci o dnevnim nimimumuma temperature tla. Tražene su razlike dnevnih minimuma temperature vazduha u kanalu i temperature vazduha na meteorološkim stanicama. Pored ovoga, obradjene su i vrednosti apsolutnih minimuma u periodu merenja.

Na sl.5.5. prikazana je raspodela ekstremnih temperatura zemljišta za dubinu postavljanja kabla, koja iznosi 130 cm, i u kanalu na starom Savskom mostu.

Sl.5.5. Raspodela ekstremnih temperatura duž trase podzemnog kabla

5.2 Meteorološki podaci za projektovanje mostova

U zavisnosti od fizičko-geografskih uslova i raspodele meteoroloških stanica meteorološko-klimatološki radovi za potrebe projektovanja velikih objekata, pa prema tome i mostova, mogu sadržati samo meteorološku podlogu o višegodišnjim meteorološkim osmatranjima i merenjima. Ako se most gradi u istim ili sličnim fizičko-geografskim uslovima u kojima se nalazi i glavna meteorološka stanica koriste se podaci višegodišnjih osmatranja i merenja, bez dopune specijalnih merenja i osmatranja na mestu gradnje. Osnovu studije o meteorološkim podlogama za potrebe projektovanja čine klimatološki podaci. U ovakvim slučajevima najčešće se radi o objektu koji se gradi u ravnici pa su podaci glavne meteorološke stanice vrlo reprezentativni.

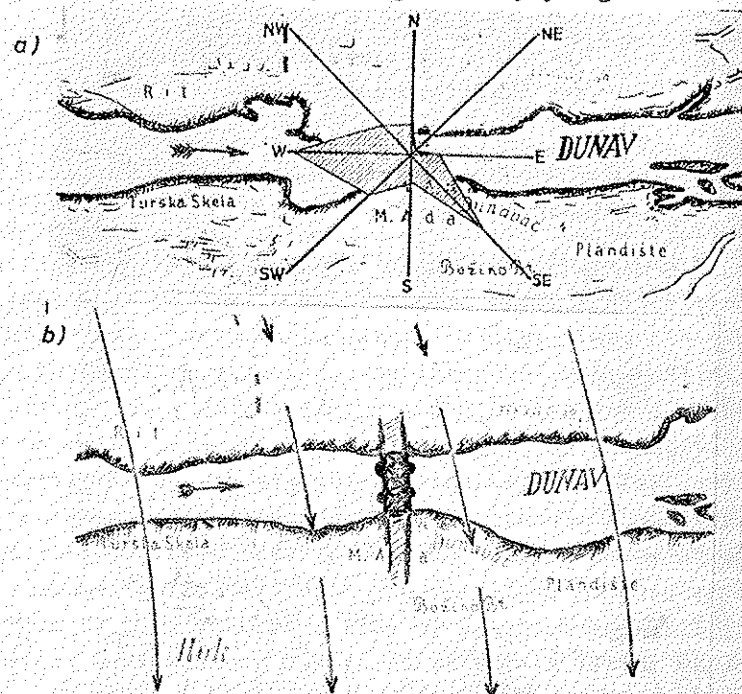
Za potrebe projektovanja i gradnje mostova u ovakvim fizičko-geografskim uslovima koriste se najčešće sledeći podaci glavnih meteoroloških stanica:

1. Temperatura vazduha i zemljišta (tla)

-srednje mesečne, maksimalne i minimalne, apsolutne ekstremne, trajanje pojedinih intervala i dr. parametri o temperaturi vazduha i zemljišta; datumi prvog i poslednjeg dana sa mrazom, dubine nulte izoterme i dr. parametri zemljišta.

2. Vetar

-prostorna i vremenska raspodela vazdušnih strujnica, maksimalna brzina vetra (za petominutni interval i trenutnog udara); verovatnoća računate maksimalne brzine vetra koja se javlja jednom u dvadeset i više godina, kao i preračunat pritisak vetra po elementu mosta; čestinu javljanja (ružu) mesečnih maksimalnih brzina iz glavnih pravaca i dr. Na sl.5.6. je ruža mesečnih maksimalnih brzina vetra za most na prelazu Dunava kod Iloka kao i strujnice preovladjujućeg vetra.



Sl.5.6 Ruža maksimalnih brzina (a) i preovladjujuće strujnice vetra (b)

3. Padavine

-srednji broj dana sa padavinama u toku godine, apsolutni maksimum broja dana sa padavinama; srednje mesečne količine padavina, maksimalne dnevne količine padavina po mesecima kao i druge parametre o padavinama.

4. Snežni pokrivač

-debljina snežnog pokrivača, gustina snega, srednji maksimalni pritisak snega na jedinicu površine itd.

5.3 Korišćenje meteoroloških podataka za projektovanje rashladnih tornjeva

Kao što je već izloženo u posebnoj glavi o zagadjenosti vazduha, zagadjenju okolne sredine jeste jedan od osnovnih problema razvoja energetike. Svaki projekat o izgradnji nuklearnih ili klasičnih elektrana sadrži meteorološko-klimatološke istraživačke radove o uticaju meteoroloških parametara na prostornu i vremensku raspodelu štetnih materija iz elektrana, koje na nepovoljan način menjaju uslove u okolnoj atmosferi, od vizuelnog zagadjenja do izmene klime čitavog lokaliteta.

Klasične termoelektrane na ugalj, gas i naftu kao i nuklearne elektrane, i uopšte elektrane koje koriste toplotu kao izvor energije imaju jednu zajedničku karakteristiku: pretvaraju u korisnu energiju samo manji deo toplote. Veći deo raspe se u okolinu zagrevajući je. To je tzv. termička polucija najčešće nepovoljna zbog uticaja na mikroklimu, biljni i životinjski svet.

Već je bilo reči da klasične termoelektrane na fosilna goriva u velikoj meri zagadjuju okolinu ispuštanjem sumpornih i azotnih oksida u vazduh, zatim pepela i dr. štetnih materija. Medjutim, ne treba zanemariti uticaje rashladnih tornjeva kod klasičnih elektrana na okolnu sredinu. Da bi se ove što ekonomičnije projektovale, a sa druge strane zaštitila okolna sredina od nepovoljnog uticaja vodene pare, sprovode se specijalna merenja i obrade meteoroloških elemenata i pojava izmerenih u lokalitetu buduće termoelektrane.

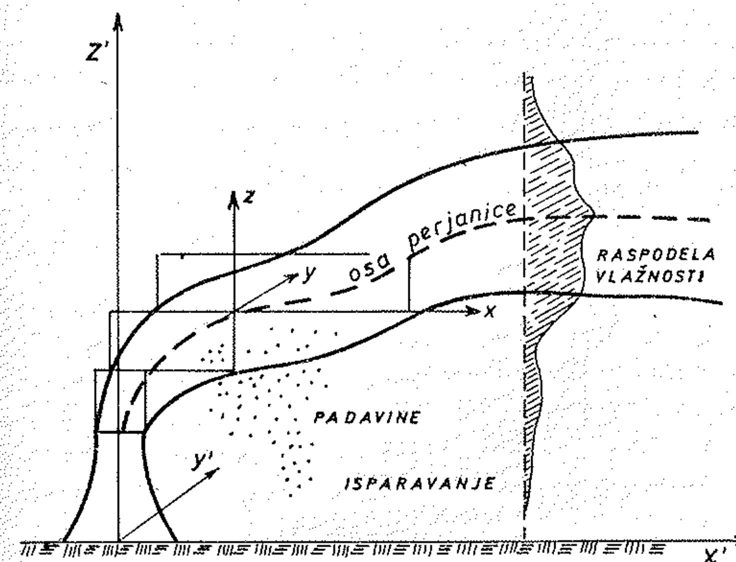
Treba ukazati i na zagadjujući uticaj kod izgradnje nuklearne elektrane na okolnu sredinu. Svaki projekat o izgradnji nuklearne elektrane sadrži i proračun o prostornoj i

vremenskoj raspodeli štetnih materija koje mogu dospeti u okolnu atmosferu u slučaju udesa-kvara pojedinih elemenata objekta u nuklearnoj elektrani, kao i proračun o štetnom uticaju vodene pare iz rashladnih tornjeva na okolnu sredinu. Stepen ugroženosti usled udesa je utoliko manji ukolikoe je verovatnoća da dodje do udesa manja, zbog čega se i preduzimaju specijalne sigurnosne mere u radu neuklearne elektrane. Medjutim, drugi osnovni apsketi meteorološke zaštite okolne sredine koji se odnose na prenos i širenje vodene pare iz rashladnih tornjeva još su značajniji s obzirom na neprekidan i sistematski uticaj rashladnih tornjeva na okolnu sredinu, koju na razne načine nepovoljno menjaju.

Oblaci vodene pare iz rashladnih tornjeva nuklearnih ili klasičnih elektrana utiču neposredno na čestinu javljanja, trajanje i intenzitet lokalnih magli, padavina, zaledjivanja, vlažnosti vazduha, temperature vazduha i tla i dr. meteoroloških elemenata i pojava u bližoj i daljoj okolini. Pod uticajem rashladnih tornjeva menja se mikroklima lokaliteta u nepovoljnom, štetnom pravcu za životnu sredinu.

Oblak vodene pare pri izlasku iz rashladnog tornja šriti se u okolnu atmosferu slično elementima kumulusnih oblaka. Širenje i prenos oblaka u horizontalnom pravcu pod uticajem je vetra i gradijenta temperature u okolnom vazduhu. Zbog ovoga se i proračuni disperzije ovakvog oblaka zasnivaju na metodi koji se koristi u fizici oblaka.

Ulazni podaci kod modela o prostornom širenju "kumulusne oblačnosti" su geometrijske i termodinamičke karakteristike rashladnog tornja, pritisak, temperatura i vlažnost vazduha, i još neki empirički parametri. Prva faza proračuna obuhvata interpolaciju meteoroloških uzlaznih podataka izmerenih na vrhu tornja. Kod proračunavanja uzlazne sile oblaka vodene pare perjanica se deli na više segmenata, kao što je to prikazano na sl.5.7. Za svaki segment se uzimaju u obzir fizičke osobine perjanice (temperatura, vlažnost i vodnost, i istovremeno uvlačenje okolnog vazduha turbulencijom perjanice). Moraju se takodje uzeti u obzir i promene spektra čestica vodene pare unutar segmenta, koje nastaju zbog slepljivanja, isparavanja i kondenzacije kapljica vodene pare.



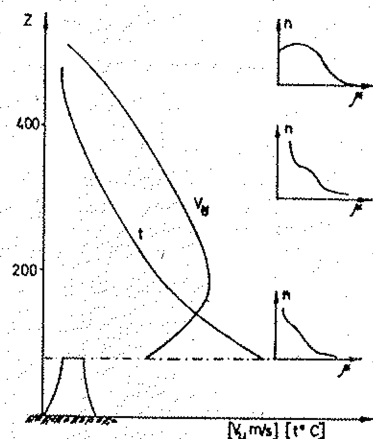
Sl.5.7. Šematski prikaz računate raspodele perjanice rashladnog tornja

Za izračunavanje disperzije vlažnosti vazduha pod uticajem turbulencije koristi se Gausova formula za difuziju. Raspodelu koncentracije vodenih kapljica, kao i raspodelu temperature u vertikaknom pravcu, posmatramo kroz osu i transverzalu koja povezuje različite nivoe perjanice. Zapreminu izvora svakog segmenta treba aproskimirati većim brojem tačkastih izvora. Profil koncentracije u sledećem višem nivou računa se na osnovu superpozicije profila koncentracije svakog tačkastog izvora. Disperzioni koeficijenti za svaki novi su odredjeni prema podacima o gradijentu temperature vazduh u okolnoj atmosferi, a pomoću poznate Satnove formule (Bogh,P. 1972).

Svaki program o prostornoj raspodeli perjanice ispituje se i praktično na već postojećem rashladnom tornju uporedjujući proračunate dužine perjanice sa osmotrenim dimenzijama. Ovakva ispitivanja i proračuni važe za pojedinačne izvore u ravničarskom području bez okolnih orografskih prepreka ili visokih gradjevinskih objekata.

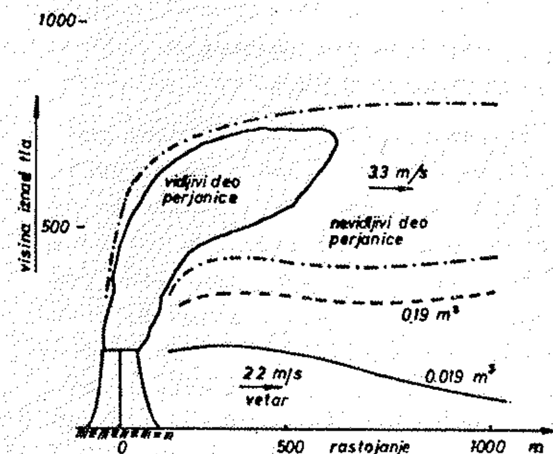
Na sl.5.8. prikazan je primer raspodele temperature, vertikalne brzine uzlaznog kretanja perjanice i spektra vodednih kapljica koji je odredjen šematski za tri diskretne

visine.



Sl.5.8. Raspodela temperature (t), vazdušnog strujanja perjanice (V_u) i spektra čestica (μ)

Na sl.5.9. je raspodela vlažnosti u vertikalnom pravcu kroz osu perjanice. Raspodela vlažnosti nije simetrična u odnosu na osu perjanice zbog isparavanja kapljica pri napuštanju perjanice.



Sl.5.9. Raspodela vlažnosti kroz osu perjanice prema modelu (P.Bogh,P.Hopkirk,A.Jonod i H.Zuend,1972)

Uporedno sa teorijskim ispitivanjima i proračunima o prostornoj raspodeli perjanice sprovode se meteorološka merenja i osmatranja u širem lokalitetu buduće elektrane. Beleženje svih potrebnih meteoroloških elemenata i pojava redovno se vrši na specijalnoj meteoroloških stanici ili mernim punktovima. Broj stanica i punktova zavisi od fizičko-geografskih uslova lokaliteta i vrste elektrane. Postavljaju se visoki meteorološki tornjevi i sprovode radio-sondažna ispitivanja kako bi se utvrdile promene pravca i brzine vetra, temperature i vlaženosti vazduha sa visinom.

Da bi se dobila izvesna saznaja o uticaju rashladnih tornjeva na okolnu sredinu kod već izgradjenih rashladnih tornjeva, koji su u eksploataciji, organizuju se osmatranja dužine perjanice, kao i njegovog uticaja na okolnu sredinu. U neposrednoj blizini rashladnih tornjeva organizuju se meteorološka merenja i osmatranja kako bi se dobili podaci o trajanju sunčevog sijanja, vlažnosti vazduha, temperaturi vazduha i tla, padavinama, isparavanju i dr. elementima i atmosferskim pojavama. Kod ovakvih merenja, zapažena je promena dužine perjanice u toku godine. Leti je dužina perjanice znatno manja nego zimi. Dužina perjanice zavisi i od čestine javljanja i intenziteta atmosferskih pojava. Pri sipećoj kiši i slaboj vidljivosti znatno je manja nego pri ostalim pojavama. Promenu dužine perjanice u toku dana i po mesecima možemo odrediti prema promeni deficita vlažnosti vazduha u lokalitetu. Primećeno je da sa povećanjem deficita vlažnosti perjanica postaje duža.

Promene trajanja sunčevog zračenja u neposrednoj blizini tornja zavise kako od intenziteta i dužine perjanice tako i od pravca i brzine vetra u lokalitetu.

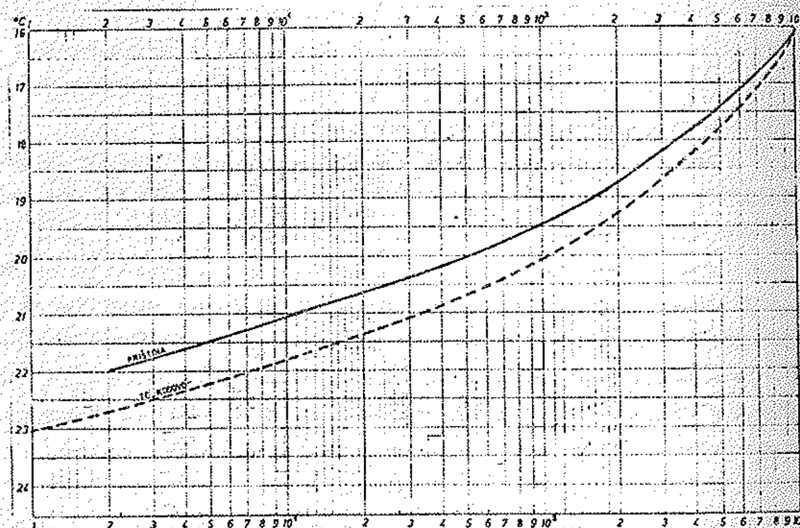
Prosečna godišnja relativna vlažnost vazduha vrlo malo ili neznatno je povećana u okolini rashladnog tornja, pa je njen uticaj na okolnu vegetaciju zanemarljiv. Slično je i sa brojem dana sa maglom.Pri visokoj relativnoj vlažnosti u lokalitetu, perjanica teži da se uzdigne zbog dodatne uzlazne sile koja se javlja prilikom oslobadjanja latentne toplote kondenzacije. Povećanjem visine perjanice povećava se transport vodene pare, a time i akumulacija vodene pare u prizemnom najnižem sloju,pa prema ovome i čestina javljanja veštačke magle. Količina veštačkih padavina, koja nastaje radom rashladnog tornja znatno će se smanjiti ugradnjom specijalnih uredjaja. Količina padavina iz tornja se primetno povećava samo neposredno pred ili odmah po prestanku atmosferske kiše.

Čestina javljanja i intenzitet zaledjivanja tla ili nadzemnih predmeta u neposrednoj blizini tornjeva zavisi od fizičko-geografskih i mikroklimatoloških uslova lokaliteta.

U planinskim područjima i visinskim dolinama nešto su veće i intenzivnije, a u ostalim područjima vrlo male, pa nemaju značaja kod pojave prirodnog zaledjivanja.

Na kraju, treba istaći da su modeli o ponašanju perjanice, o prostornoj i vremenskoj raspodeli perjanice i njenom uticaju na okolnu sredinu vrlo korisni projektantima. Proračuni meteoroloških uticaja perjanice na okolnu sredinu mogu se uporediti sa osmotrenim perjanicama kod već izgradnjenih tornjeva koji su više godina u eksploataciji.

Za procenu moći hladjenja rahsladnog tornja meteorološke podloge sadrže i izvedene vrednosti maksimalnih parametara kao što su trajanje temperature mokrog termometra (u časovima po mesecima), zatim, sume i kumulatine sume trajanja temperature mokrog termometra (u časovima), srednje trajanje i srednje kumulativno trajanje temperature mokrog termometra (u časovima) i dr. Na sl.5.10. je grafikon srednjeg (kumulativnog) trajanja temperature mokrog termometra od 16. do 24°C u časovima, za TE Kosovo, za period 1968-1970.



Sl.5.10. Srednje trajanje temperature mokrog termometra za Prištinu i TE "Kosovo"

Osim pomenutih podataka projektantu se dostavljaju i tablice višegodišnjih dnevnih maksimuma temperature vazduha i pri ovima relativne vlažnosti vazduha i brzine vetra; temperatura vazduha i pri ovoj maksimalna relativna vlažnost, tablice trajanja temperature vazduha iznad 25° i pri njima vlažnost vazduha, kao i tablice trajanja i intenziteta ostalih meteorolo-

ških elemenata i pojava za utvrdjivanje moći hladjenja u lokalitetima budućih rashladnih tornjeva.

5.4 Meteorološki podaci za projektovanje trase radio-veze na ultrakratkim talasima

Uticaj meteoroloških uslova na rasprostiranje ultrakratkih radio-talasa primećen je još tridesetih godina ovog veka. Bilo je opaženo da u nekim karakterističnim vremenskim situacijama prijemni signal postaje znatno slabiji nego obično. Prvi eksperimentalni radovi u ovom pravcu svodili su se na uspostavljanje neke korelativne veze izmedju vrednosti nivoa elektromagnetnog polja talasa u tački prijema i vremenske situacije. Postojanje ovakve korelativne veze, kao što su kasnije pokazala i laboratorijska ispitivanja, objašnjavalo se uticajem režima temperature atmosferskog vazduha na rasprostiranje ultrakratkih radio-talasa. Ispitivanja su dovela do stvaranja poluempirčkih formula za izračunavanje prelamaćujućih osobina ultra-kratkih radio-talasa, u zavisnosti od meteoroloških elemenata i pojava.

U toku Drugog svetskog rata koristili su se radarski uredjaji za osmatranje raznih objekata u vazduhu i na moru. Usled poznatog pravilinijskog rasprostiranja radarskih talasa smatralo se da polje otkriveno radarom ide samo do njegovog optičkog horizonta. Medjutim, već pri korišćenju prvih ekrana radara sa talasnom dužinom 13m primećeno je da se na ekranu radara pojavljuju avioni koji su se nalazili i nešto izvan njihovog optičkog horizonta. Kada su bili uvedeni u upotrebu radari na talasima od 7 m, 1.5,50 cm, 10 i 30 cm pa i niže utvrdjeno je da je do pojave povećanja očtičkog horizonta dolazilo još češće. Tako su, na primer, radari postavljeni duž obalne južne Engleske često bili u stanju da "vide" obalu Francuske, što normalno nije bio slučaj. Tada je bilo primećeno da je ova pojava obično najizraženija uveče, mada je ponekad počinjala popodne i produživala se u noć. Postalo je jasno da su ove pojave u vezi sa lepim vremenom (vedrim nebom i bez vetra), pa su prema tome, bile dobrim delom mnogo izraženije leti nego zimi. Kod radara koji su bili postavljeni da osmatraju preko kopna takodje su u pojedinim slučajevima imali povećanu optičku vidljivost, samo što ona nije nastupila u popo-

dnevnim, nego u večernjim časovima, parelelno sa razvojem prizemne radijacione inverzije. Obično se razvijala odmah po zalasku Sunca.

Po završetku rata u mnogim zemljama počela se proučavati veza izmedju rasprostiranja ultra-ktratkih talasa UKT i meteoroloških uslova za uspešniji i bezbedniji rad radara, televizije, PTT veze i dr. radio-veza na ovim frekvencijama.

Emitovani radiotalasi iz nekog predajnika na svom putu biće podvrgnuti: difrakciji, refrakciji, refleksiji, apsorpciji itd.

U najnižim prizemnim slojevima troposfere usled difrakcije nastaje savijanje radiotalasa ka zemljinoj površini.

Refrakcija i refleksija elektromagnetnih talasa nastaju kod temperature inverzije i usled naglog opadanja vlažnosti sa visinom, čime se povećava domet predajnika. Kako se meteorološka stanja menjaju i u vremenu i prostoru, daljine nisu stalne već su različite.

Usled apsorpcije vazdušnih čestica nastaje gubitak energije elktromagnetnih talasa. Primljeni signal je slabiji, nego emitovani signal. Slabljenje je prouzrokovano prisustvom kiseonika i vodene pare. Vrlo su složena merenja procesa slabljenja, jer apsorpciona moć atmosfere zavisi još i od temperature.

Indeks refrakcije suvog vazduha je približno isti za svetlosne kao i za UK radiotalase i može se izraziti eksperimentalno dobijenom formulom:

$$(n-1)\cdot 10^6 = A\frac{P}{T} \qquad (5.1)$$

gde je n-indeks refrakcije, p-vazdušni pritisak u milibarima, T-temperatura u apsolutnim stepenima i A-konstanta. Medjutim, vazduh u troposferi nije suv, već sadrži i vodenu paru, a indeks refrakcije vodene pare različit je za svetlosne i radiotalase, pošto molekuli vodene pare imaju permanentan dipolni momenat, koji različito deluje na elektromagnetne talse različitih frekvencija. Za UK radio-talse indek refrakcije vodene pare dat je izrazom:

$$(n-1)\cdot 10^6 = B\frac{e}{T^2} \qquad (5.2)$$

B-konstanta, e-pritisak vodene pare u milibarima.

Pošto se uticaji refrakcije suvog vazduha i vodene pare sabiraju tada dobijamo indeks refrakcije vlažnog vazduha:

$$N = (n-1)\cdot 10^6 = A\frac{P}{T} + B\frac{e}{T^2} \qquad (5.3)$$

konstante A i B odredjene su eksperimentalno, pa se ova formula smatra približnom. Najviše su u upotrebi vrednosti za A=77.6 i za $B=3.73.10^5$.

Prema tome, za izračunavanje indeksa refrakcije (prelamanja) neophodno je znati: raspodelu pritiska, temperature i vlažnosti vazduha. U meteorološkoj praksi se ne meri pritisak (napon) vodene pare, već relativna vlažnost vazduha a zatim se izračunava specifična vlažnost vazduha, tj.količina vodene pare u 10^{-3}kg koja se sadrži u jednom kilogramu vlažnog vazduha. Veza izmedju specifične vlažnosti i pritiska vodene pare daje se sledećim izrazom:

$$q = 0.622\,\frac{e}{P-0.378e} \qquad (5.4)$$

Sa dovoljnom tačnošću za naše svrhe može se smatrati da je: $q = 0.622\frac{e}{P}$
stavljajući ovu vrednost u formulu za indeks prelamanja dobijamo:

$$N = A\frac{P}{T} + B_1\frac{Pq}{T^2} \qquad (5.5)$$

Koeficijent $B1 = \frac{3.73\cdot 10^5}{0.622} \approx 0.6$ pošto se veličina q daje u kg/kg.

Poslednji izraz pogodan je za praktične svrhe, jer se veličine p, T i q koje ulaze u formulu, nalaze u meteorološkim dnevnicima i godišnjacima. Ovakav način izračunavanja indeksa refrakcije pogodan je samo kod proračunavanja preciznog nivelmana pomoću UK uredjaja.Medjutim, pri izračunavanju indeksa refrakcije za UK radio-talase kod konstrukcije radio-veze najčešće se koriste direktno iz aeroloških i mikroaeroloških merenja p,T i e gde se e dobija iz formule za relativnu vlažnost vazduha (U=e/t 100).

Veličina i pravac vertikalnog gradijenta indeksa prelamanja u troposferi konstantno utiču na rasprostiranje radiotalasa. Izvesnu predstavu o zakonosti prosečne promene indeksa refrakcije sa visinom možemo dobiti analizom ideksa refrakcije. Iz ovog izraza se vidi da je promena N sa visinom u vezi sa promenom atmosferskog pritiska,temperature i vlažnosti vazduha.

Temperatura vazduha na visini Z iznosi: $T_Z = T_o - \gamma Z$
γ-vertikalni gradijent temperature, T_o-apsolutna temperatura u donjem sloju debljine, z, a T_z-apsolutna temperatura na gornjoj granici sloja. U takvoj atmosferi (nazvanoj politropna) promena pritiska sa visinom data je barometarskom formulom:

$$P_Z = P_o \left(\frac{T_o - \gamma Z}{T_o} \right)^{\frac{g}{R}} \qquad (5.6)$$

g- ubrzanje sile teže, R univerzalna gasna konstanta. Praktično se izračunavanje pritiska kod aeroloških osmatranja vrši za uslove izotermičke atmosfere. U tom slučaju

$$P_Z = P_o e^{-\frac{gZ}{RT_m}} \qquad (5.7)$$

T_m-srednja temperatura sloja jednaka srednoj aritmetičkoj vrednosti osmotrene temperature na donjem i gornjem nivou sloja debljine z.

Promena specifične vlažnosti sa visinom obično se daje empiričkim formulama, kao na primer: $q = q_o e^{-az-bz^2}$
a i b-konstante, koje su izračunate za godišnja doba:

Godišnje doba:	a, km^{-1}	b, km^{-2}
P r o l e ć e	0.216	0.037
L e t o	0.218	0.037
J e s e n	0.209	0.028
Z i m a	0.111	0.036

Stanje atmosfere se neprekidno menja a sa ovim i vremenske i prostorne promene indeksa refrakcije atmosfere, pa se zbog toga pretpostavlja da je pogodnije za njihovo izračunavanje uzeti neku standardnu radio-atmosferu. Za praktična izračunavanja koristi se Medjunarodna standardna atmosfera (MSA), u kojoj je pritisak na nultoj visini jednak 1013,2mbara a temperatura vazduha 15°C (288 K). Do visine od 11 km tj. u troposferi temperatura opada sa visinom za 6.5°C za 1 km. Ovi podaci dovoljno se slažu sa srednjim vrednostima za realnu atmosferu, za srednje širine u letnje vreme godine.

Kao što se vidi, kod MSA se ne iznose veličine i vertikalna raspodela vlažnosti, koja je vrlo važna vrednost za rasprostiranje UKT. Za meteorološke potrebe medjunarodnu standardnu atmosferu (MSA-u) treba dopuniti standardnom raspodelom specifične vlažnosti i indeksom prelamanja atmosfere.

U tablici 5.4. daju se parametri standardne radio-atmosfere. Pored vertikalnog gradijenta indeksa refrakcije u tablici se iznose i sledeći parametri: modifikovani indeks refrakcije M (da bi se izbegla neprektična jedinica n-1, koristi se milion puta veća jedinica tzv. M jedinica "modifikovani indeks refrakcije" MIR), odnos efektivnog radijusa prema stvarnom radijusu zemlj - m, i odnos radijusa prema krivini zemlj - K.

Tablica 5.4

Standardna radio-atmosfera

z (km)	P, (mbar)	T (K)	q (kg kg)	N N jed.	dn/dz 10^{11} cm^{-1}	M	m
0.0	1013,2	288.16	8.5	335.3	47,94	335.3	1.439
0.5	954.6	284.96	7.6	313.8	44.8o	392.3	1.399
1.0	900.0	281.66	6.6	293.1	41.50	450.0	1.359

i t d

Vertikalni gradijent indeksa refrakcije u tablici 5.4 izračunat je prema formuli:

$$\frac{dN}{dz} = \left(\frac{dN}{dz}\right)_P + \left(\frac{dN}{dz}\right)_T + \left(\frac{dN}{dz}\right)_q \qquad (5.8)$$

Ostali parametri izračunati su prema formulama:

$$M = N \frac{z \cdot 10^6}{R} \qquad m = \frac{1}{1 + \frac{dm}{dz} R} \qquad K = \frac{1}{R \cdot \frac{dN}{dZ}}$$

z-visina iznad zemljine površine, R-prečnik zemlje koji iznosi $6.371 \cdot 10^8$ cm.

Pod uticajem odredjenih meteoroloških uslova može doći do drugačije raspodele indeksa refrakcije sa visinom, koja se bitno razlikuje od standardnih uslova. Zbog toga se daje sledeća klasifikacija atmosferske refrakcije koja je razbijena u tri grupe: negativnu, pozitivnu i kada nema refrakcije.

Kada je dN/dz=0 nema refrakcije, te se radio talsi rasprostiru po pravolinijskim trajektorimama. Kod negativne refrakcije trajektorije radio-talasa okrenute su ispupčenošću na dole, tj. radio-talsi se udaljuju od površine zemlje, tada je $dN/dh > 0$. Pri pozitivnoj refrakciji trajektorije radio-talasa okrenute su ispupčenošću nagore. Pozitivna refrakcija nastaje kada je $dN/dh < 0$.

Pozitivnu refrakciju delimo još na: opadajuću, normalnu, povećavajuću, kritičnu i superrefrakciju.

Radi razumevanja klasifikacije posmatrajmo kritičnu refrakciju pri kojoj je radijus krivine trajektorije radiotalasa jednak radijusu zemlje:

$$dN/dz = -0.157 \ m^{-1}$$

Kod kritične refrakcije trajektorije radiotalasa zadržavaju stalnu visinu iznad zemlje.

Pri superrefrakciji trajektorije radiotalasa okrenute su ispupčenošću nagore, ali je radijus krivine trajektorije manji od radijusa zemlje usled čega talas izlazeći pod normalnim uglom vrši u troposferi potpuno unutrašnje odbijanje, vraćajući se na nekom udaljenju od predajnika na površinu zemlje.

Smanjena refrakcija odgovara uslovima koji su izmedju uslova kada nema refrakcije i normalne refrakcije. Povećana refrakcija odgovara uslovima koji su izmedju normalne i kritične refrakcije.

U tablici 5.5. daju se vrednosti dN/dz, R, a_{ev} i K koje odgovaraju različitim oblicima atmosferske refrakcije.

Tablica 5.5.

Klasifikacija atmosferske refrakcije

KLASIFIKACIJA ATMOSFERSKE REFRAKCIJE

Redni broj	Naziv atmosferske refrakcije	$\frac{dN}{dh}$ (1/m)	R (m)	a_e (m)	K	stvarna trajektorija	ekvivalentna trajektorija
1	NEGATIVNA REFRAKCIJA	> 0	< 0	$< 6.37 \cdot 10^6$	1	a	$a_e < a$
2	BEZ REFRAKCIJE	0	∞	$6.37 \cdot 10^6$	1		$a_e = a$
3	POZITIVNA REFRAKCIJA						
3.1	SMANJENA	$0 \div -0.04$	$\infty \div 2,5 \cdot 10^7$	$6.37 \cdot 10^6 \div 8.5 \cdot 10^6$	$1 \div 4/3$	a	
3.2	NORMALNA	-0.04	$2,5 \cdot 10^7$	$8.5 \cdot 10^6$	4/3	a	$a_e = 4/3 \, a$
3.3	UVEĆANA	$-0.04 \div -0.157$	$2.5 \cdot 10^7 \div 6.37 \cdot 10^6$	$8.5 \cdot 10^6 \div \infty$	$4/3 \div \infty$	a	
3.4	KRITIČNA	-0.157	$6.37 \cdot 10^6$	∞	∞	a	$a_e = \infty$
3.5	SUPERREFRAKCIJA	< -0.157	$< 6.37 \cdot 10^6$	< 0	< 0	a	$a_e < 0$

Korišćenje meteoroloških elemenata i pojava za potrebe projektovanja radiorelejnih trasa vrši se uglavnom prema preporukama Medjunarodnog konsultativnog komiteta za radio-saobraćaj (CCIR-a). Tako naprimer, prema preporukama 369-1 i 453 Komiteta (CCIR,1974. Ženeva) odnosi izmedju meteoroloških

parametara i visine radio-talasa ispituju se prema sledećoj formuli:

$$N = \frac{77.6}{T}\left(P + 4810 \frac{e}{T}\right) \qquad (5.9)$$

u kojoj su p-pritisak (mbar), e-pritisak vodene pare (mbar) i T-apsolutna temperatura (K).

U tabeli 5.6. se nalaze statistički obradjeni meteorološki podaci i prema ovome izračunate vrednosti (N) za trasu Beograd-Valjevo.

Tablica 5.6

Stanica ..V A L J E V O.... Godina ..1976.

[illegible]	07 čas				14 čas				21 čas				Srednja			
	T	P, mb	e, mb	N	T	P, mb	e, mb	N	T	P, mb	e, mb	N	T	P, mb	e, mb	N
I	270.9	995.1	4.8	309.0	277.5	994.1	5.2	303.6	272.9	995.3	5.3	310.3	273.5	994.7	5.1	308.0
II	270.0	1002.9	4.5	310.8	276.2	1002.7	4.9	305.7	272.5	1003.5	5.2	312.2	272.8	1003.0	4.9	309.4
III	272.2	998.6	5.2	310.8	280.5	997.4	5.5	302.4	275.6	998.1	5.9	309.4	276.0	997.9	5.5	307.[illegible]
IV	280.9	992.5	9.1	316.9	289.1	991.7	8.1	301.9	283.2	992.5	9.6	317.0	284.1	992.2	8.9	323.4
V	285.6	995.7	12.0	325.8	292.0	994.9	11.2	312.4	287.1	995.0	13.1	327.9	288.2	995.1	12.1	322.[illegible]
VI	288.6	997.0	14.8	334.5	294.8	996.7	14.4	323.9	289.5	997.0	16.3	340.0	290.6	997.0	15.2	333.4
VII	290.9	993.5	16.8	339.4	298.9	993.0	15.3	322.2	292.3	993.0	19.1	346.4	293.6	993.1	17.1	336.1
VIII	287.6	995.9	14.8	335.7	295.9	996.5	14.7	325.0	289.1	997.0	16.5	340.6	290.4	996.9	15.3	333.8
IX	284.4	995.7	12.4	329.1	293.8	995.3	13.2	319.6	286.7	995.6	14.4	335.3	287.9	995.7	13.5	328.[illegible]
X	281.2	993.4	10.3	322.8	290.9	992.7	11.7	316.7	284.1	993.3	12.1	327.1	285.1	993.1	11.5	322.[illegible]
XI	277.5	997.0	8.0	318.0	284.7	996.7	8.7	312.2	279.4	997.4	8.7	318.9	280.3	997.1	8.4	316.1
XII	273.0	993.1	5.3	308.6	279.3	992.1	6.0	304.5	275.4	993.0	6.1	310.1	275.8	992.7	5.9	307.9

Osim indeksa refrakcije za procenu kvaliteta veze i biranja optimalnih rešenja konstrukcije veze koristi se i korigovani poluprečnik zemlje, koji se računa na osnovu meteoroloških podataka. Naime, radio-relejni elektromagnetni talasi se prostiru najčešće do visine 1 km iznad zemljine površine, pa se srednje vrednosti gradijenta refrakcije (N) na ovim visinama koriste za izračunavanje korekcije poluprečnika zemlje, prema formuli:

$$K = \frac{1}{1 + 6.37 \cdot N \cdot 10^{-3}} \qquad (5.10)$$

U praksi se veličine faktora K, odnosno N, računaju na osnovu višegodišnjih meteoroloških parametara izmerenih u prizemnom sloju atmosfere do nekoliko stotina metara u zavisnosti od prosečne visine radio-relejne trase iznad zemljine površine.

Pored meteoroloških parametara koji se uzimaju za izračunavanje indeksa refrakcije i faktora (K), daju se i ostali meteorološki elementi i pojave, kao što su ekstremne temperature vazduha, vetra, padavina i atmosferske pojave radi pro-

cene uticaja rasipanja i slabljenja radio-relejnih elektromagnetnih talasa.

Slika daljinskog rasprostiranja radiotalasa pri postanku superrefrakcije dosta podseća na procese rasprostiranja talasa u dielektričnim talasovodima. Osnovu talasovoda obrazuje poluprovodna zemljina površina, a gornju granicu oblasti superrefrakcije. Koeficijent prelamanja unutar ove oblasti ima veće vrednosti, nego izvan nje. Razlike se tumače na taj način, što se kao i kod dielektričnog talasovoda, pojedini zraci odbijaju, kako od donje tako i od gornje granice; pri superrefrakciji na donjoj granici je odbijanje radiotalasa, a u gornjoj-pojava potpunog unutrašnjeg odbijanja. Ova analogija je poslužila kao povod da se oblasti superrefrakcije u troposferi često nazivaju "troposferski talasovodni kanali", a utvrdjeno je, da su osnovni uzroci superrefrakcije prizemne inverzije i opadanje vlažnosti sa visinom, a najčešće oba ova činioca. Uticaj ovih činilaca je potpun kada su gradijenti temperature i vlažnosti vrlo veliki u prilično debelom sloju atmosfere. Stvaranje prizemnih temperaturnih inverzija u vezi je sa noćnim hladjenjem tla ili smanjenjem vodene pare u prizemnom sloju vazduha usled stvaranja rose. Ovo su, ustvari, lokalni procesi, ali koji mogu zahvatiti i veća područja, naprimer, čitavu Panonsku niziju kod nas. Drugi važan činilac je advekcija vazduha, odnosno horizontalni transport vazduha vetrom iz jedne oblasti u drugu, iznad kojih su različite temperature i vlažnisti vazduha. Najizrazitija advekcija se javlja pri prelazu toplih kontinentalnih vazdušnih masa iznad mora, koje je hladnije od vazduha. Pod uticajem hladjenja prizemnih slojeva vazduha, dok će gornji slojevi ostati topliji, tako, da će se stvoriti advektivna temperaturna inverzija. Obratno je zimi, kada tople maritimne vazdušne mase struje iznad hladnijeg kopna. Leti se kod nas ovakav tip inverzije može javiti iznad Jadranskog mora, a u hladnije doba godine i u kontinentalnom delu zemlje.

Treći činilac koji utiče na vertikalnu strukturu temperature i vlažnosti je subsidencija, odnosno, lagano spuštanje vazduha ka tlu iznad šireg područja. Usled ovoga spuštanja, koje je naročito izraženo u stacionarnim anticiklonima, dolazi do adijabatskog zagrevanja vazduha i do naglog pada vlažnosti.

Intenzitet i trajanje pomenutih procesa u atmosferi zavise u prvom redu od podloge iznad koje se razvijaju, tj. da li je u pitanju, kopno, more ili obalski predeo.

Mada je kopno vrlo različitog sastava i pokriveno raznim vrstama vegetacije, naseljima i odlikuje se više ili manje izraženim reljefom, dešava se često i pored pogodnih meteoroloških uslova da talasovodi ne zahvataju veće površine te ne mogu ni biti efektivni. Kod nas je Panonska nizija možda najpogodnija za stvaranje talasovoda iznad većeg prostranstva. U prizemnom sloju iznad kopna postoji dnevno kolebanje temperature, oblačnosti i vetra. Noćne inverzije pogodne za superrefraciju, obično se protežu od 300 m iznad tla. Uloga gradijenta vlažnosti noću je nejasna. Vlažnost u noćnim inverzijama obično raste u prvih 100 m a iznad ove visine, najčešće opada. Medjutim, ako je advekcija toplog vazduha iznad hladnog tla tada se donji slojevi ohlade pa nastaje inverzija, ukoliko je tlo mokro vlažnost vazduha opada sa visinom, pa može dovesti do superrefrakcije. Slično se dešava i kada suv vazduh duva iznad većih vodenih površina, mora i jezera.

Kretanje vazduha u troposferi je uvek turbulentno, tj. pored neke srednje brzine strujanja, svaki vazdušni delić ima neku drugu brzinu. Turbulencija se menja od mesta do mesta i čini troposferu nehomogenom. Usled neuredjenog kretanja molekula snop elektromagnetne energije se rasipa i menja svoj pravac za nekoliko stepeni. Neprekidna promena pravca elektromagnetne energije povećava efekat rasipanja, a time i prijem UK radio-talasa daleko iza horizonta. Ovakvo rasprostiranje koristi se za radioveze na većim daljinama. Koliku će daljinu dostići, zavisi pre svega, od tehničkih uslova: jačine predajnika, osetljivosti prijemnika i usmerenosti predajne i prijemne antene, a takodje i od debljine sloja turbulencije u kojoj dolazi do rasipanja.

Rasipanje usled turbulencije može imati i negativno dejstvo. Ovo se naročito odnosi na signale sa velikom širinom spektra frekvencija, kao naprimer, kod televizije ili impulsnih signala i sl. gde rasipanje ograničava pojas propuštanja frekvencije. UK radio-talasi u trubulentnoj atmosferi prelaze različite puteve: radio-talasi koji prelaze duži put vremenski kasne, što ima za posledicu izobličenje snage signala. Kad radio-

talas sretne neki predmet koji ima drukčije dielektrične osobine od onih koje ima okolna sredina tada se deo energije talasa apsorbuje, a nešto raspe u svim pravcima bez promene talasne dužine.

Efekti rasipanja svih atmosferskih gasova su zanemarljivo mali. Jedini gasovi u atmosferi koji prouzrokuju apsorpciju su vodena para i kiseonik. Molekuli vodene pare imaju električni dipolni moment sa rezonantnom talasnom dužinom oko 1.3 cm. Kiseonik je paramagnetičan te ima magnetni dipolni momenat koji dejstvuje zajedno sa magnetnim polje i pravi dodatne apsorpcione linije.

Slabljenje usled gasova zavisi od količine prisutnog gasa, temperature i talasne dužine.

Slabljenje usled vodene pare je zanemarljivo malo za talasne dužine veće od 10 cm. Za manje talasne dužine slabljenje naglo raste do najvećih vrednosti (koje su 0.2 db/km za talasnu dužinu od oko 1.3 cm) a zatim opada. Pri većoj oblačnosti slabljenje usled kiseonika iznosi oko 0.01 db/km i vrlo malo se menja sa promenom talasne dužine od 10 cm do 1 km.

Slabljenje na talasnom opsegu od 10 cm je upravo srazmerno koncentraciji kondenzovane vodene pare u vazduhu, kubu prečnika kapi a obrnuto srazmerno četvtom stepenu talasne dužine. Slabljenje kraćih talasnih dužina u kiši je vrlo jako i zavisi od talasne dužine i veličine kapi.

Radarski talasi odbijeni od hidrometeora u oblacima mogu maskirati odjek od aviona i tako biti uzrok smetnji. Odbijena energija od oblaka ili padavina jeste ona energija koju je radar emitovao u snopu konusnog zraka. Kapi koje se nadju u snopu vratiće energiju prema prijemniku. Poprečni presek površine snopa povećava se sa odstojanjem od predajnika pa je količina kapi u oblaku dovoljna da potpuno ispuni čitav poprečni presek snopa. Znači, ukupni broj kapi utiče na količinu odbijene energije: ona se povećava sa povećanjem rastojanja izmedju oblaka i predajnika, što je od velikog praktičnog značaja.

Slabljenje UK radio-talasa u oblacima, magli, kiši i u atmosferskim gasovima daje se u sledećim tablicama:

a) Slabljenje u oblacima i magli

Vidljivost (m)	slabljenje (db/km)		
	λ=1.25 cm	λ=3.2 cm	λ=10 cm
30	1.25	0.20	0.02
90	0.25	0.04	0.004
300	0.045	0.007	0.001

b) Slabljenje usled atmosferskih gasova (atmosferski pritisak 1013.2 mbara)

Temperatura °C	Vlažnost 10^{-3}kg/m³	slabljenje (db/km)		
		λ=1.25 cm	λ=3.2 cm	λ=10 cm
0	4	0.09	0.01	0.007
15	10	0.2	0.015	0.007
25	18	0.4	0.02	0.007

c) Slabljenje usled kiše:

Intenzitet padavina mm/h	slabljenje (db/km)		
	λ=1.25 cm	λ=3.2 cm	λ=10 cm
1.0	0.10	0.01	0.0004
2.5	0.30	0.03	0.001
5.0	0.65	0.07	0.002
25.0	3.7	0.55	0.008

d) Slabljenje usled pljuskova:

Intenzitet padavina mm/h	slabljenje (db/km)		
	λ=1.25 cm	λ=3.2 cm	λ=10 cm

5.5 Meteorološki podaci za projektovanje i izgradnju aerodroma

Meteorološka podloga koja se daje za projektovanje i gradnju aerodroma sadrži višegodišnje podatke o meteorološkim elementima i pojavama osmotrenim i izmerenim na glavnim i običnim meteorološkim stanicama koje se nalaze u lokalitetu budućeg aerodroma. Osim ovih podataka podloga sadrži i podatke i opise

terenskih mikroklimatskih i mikroaeroloških merenja i ispitivanja. Mikroaerološka merenja daju značajne podatke o režimu vetra, trubulenciji i stratifikaciji atmosfere u prizemnom sloju iznad aerodroma.

Način korišćenja ovih podataka za potrebe projektovanja aerodroma, kao i opise metoda obrade i analize ovih podataka nalazimo u posebnoj literaturi o klimatologiji ili meteorologiji aerodroma.

Za projektovanje poletno-sletne staze (PSS), stajališta, i uopšte gradjevinskih objekata i konstrukcija na aerodromu najčešće se koriste podaci o temperaturi vazduha i tla, vlažnosti vazduha, padavinama, oblačnosti, pritisku vazduha, atmosferskim pojavama, vidljivosti, stanju tla, zaledjivanju i dr. Ovde treba ubrojiti i podatke o promenama temperature, vlažnosti i pritiska vazduha sa visinom, kao i podatke o promeni pravca i brzine vetra sa visinom. U poslednje vreme meteorološke podloge sadrže i podatke o fonskoj zagadjenosti vazduha i buci, koji se kasnije unose u proračun uticaja avionskog saobraćaja, dakle aerodroma u eksploataciji, na okolnu sredinu. Kod korišćenja meteoroloških podataka u periodu eksploatacije aerodroma, treba napomenuti, da se organizuju sistematska i neprekidna meteorološka merenja na aerodromu i dostavljaju centru za bezbednost avionskog saobraćaja, a to je i delokrug rada posebne grane meteorologije pod nazivom vazduhoplovna meteorologija. Isto tako, treba napomenuti da se meteorološki podaci koriste i pre pristupa projektovanju aerodroma kod izbora najpovoljnije lokacije i kod procene dimenzije i dispozicije aerodroma.

Pri projektovanju aerodroma podaci o temperaturi vazduha koriste se za proračunavanje dužine poletno-sletne staze (PSS). Dužina PSS se dobija iz vrednosti gustine vazduha, a to znači, na osnovu podataka o temperaturi i pritisku vazduha. Kod proračuna se uzimaju odstupanja izmerenih vrednosti temperature i pritiska od vrednosti za standardnu atmosferu. Uzimaju se srednje mesečne temperature vazduha najtoplijeg meseca u godini i srednje maksimalne temperature za isti mesec kako bi se dobila "referentna temperatura aerodroma". Dužina PSS se povećava za svaki stepen razlike izmedju referentne temperature i temperature standardne atmosfere.

Dužina PSS se povećava čak i za 10% ukoliko ova razlika iznosi 6-10°C, a za neke tipove aviona i više. Isto tako, za svakih 500 m nadmorske visine dužina PSS se povećava za 5 do 10%, takodje u zavisnosti i od tipa aviona (G.J.Narovljanski,1968). Medjutim, prema preporukama Medjunarodne komisije za vazdušni saobraćaj (ICAO) dužinu PSS treba povećati za 1% za svaki stepen razlike referentne temperature i temperature standardne atmosfere.

Temperaturni režim, a naročito kolebanje ekstremnih temperatura uzimaju se u obzir kod izgradnje betonskih pista i gradjevinskih objekata. Iz iskustva je poznato da pogrešno uzete temperature vazduha nanose štete i ubrzavaju habanje betona i dr. elemenata objekata zbog naglog širenja i slabljenja izazvanog nepredvidjenim kolebanjem temperature. S obzirom da nema podataka o temperaturnom režimu betona koriste se indirektni metodi odredjivanja temperaturnih parametara betonskih pisti i ostalih gradjevinskih objekata i konstrukcija na aerodromu.

Podaci o vetru koriste se višestruko, ali se najčešće primenjuju verovatnoće javljanja različitih brzina vetra po pravcima. Posebno se računa tzv. bočna komponenta vetra na poletno-sletnu stazu (PSS) a prema metodima koje nacionalne meteorološke službe posebno razradjuju. Analiza ove upravne komponente vetra na PSS je neophodna, jer od veličine, čestine javljanja i trajanja bočnog vetra zavisi optimalna orijentacija PSS i bezbednost avionskog saobraćaja. Poletanje i sletanje aviona vrši se u smeru suprotnom od smera vetra (čeona komponenta). Na ovaj način, avion sleće i poleće sa smanjenom brzinom, a dužina poletanja i sletanja aviona je znatno manja, što je i ekonomičnije. Osim ovoga, stabilnost i upravljanje avionom su znatno poboljšani. Poletanje i sletanje aviona pri vetru koji duva u istom smeru (ravna komponenta) ili pod uglom su složeniji i u nekim uslovima veoma opasni jer mogu dovesti do havarije aviona. Zbog toga se poletanje i sletanje za svaku vrstu aviona vrše samo pri odredjenoj brzini bočnog vetra.

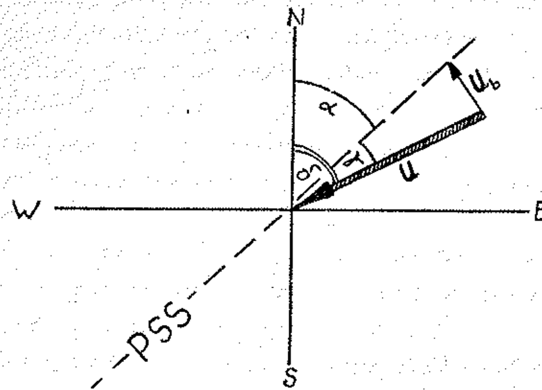
Za ocenu ovakvih uslova poletanja i sletanja aviona kod aerodroma koji se projektuju traži se verovatnoća javlja-

nja odredjenih brzina vetra po pravcima pri kojima se dozvoljava, odnosno, zabranjuje poletanje ili sletanje, a takodje i na osnovu verovatnoće vetra pri kojem se bitno smanjuje dužina prostiranja ili rulanja (zaleta) aviona. U prvom slučaju, tražimo verovatnoću pri kojoj bočna komponenta vetra neće preći odredjenu brzinu $\left[P(U_b \leq U_b)\right]$, a u drugom, verovatnoću pri kojoj će uzdušna komponenta (vetra u istom smeru sa letom aviona) biti veća od odredjene brzine $\left[P(U_u > V_u)\right]$. Verovatnoću javljanja vetra izraženu u procentima, koja se odnosi na prvi slučaj nazivamo koeficijentom opterećenja.

Ako je, iz podatka o vetru, dobijeno da vetar sa brzinom (U) duva iz pravca (δ) na projektovanu poletno-sletnu stazu (PSS) iz sl.5.11 lako je uočiti da se bočna komponenta brzine vetra (U_b) može izračunati na sledeći način:

$$U_b = U\sin(\delta-\alpha) = U\sin\gamma \qquad (5.11)$$

α-azimut poletno-sletne staze; γ-ugao nagiba, odnosno, ugao pod kojim vetar duva na PSS.



Sl.5.11. Poletno-sletna staza (PSS), pravac (δ) i brzina vetra (U), α -azimut PSS, γ ugao nagiba i bočna komponenta vetra (U_b)

Možemo naci i odnos izmedju ugla nagiba (γ) i brzine bočnog vetra (U_b), kada bočni vetar ne prelazi odredjenu brzinu

(V_b), odnosno $U_b \leq V_b$, tada je:

$$\sin\gamma \leq V_b : U \qquad (5.12)$$

ili

$$\gamma \leq \arcsin V_b : U \qquad (5.13)$$

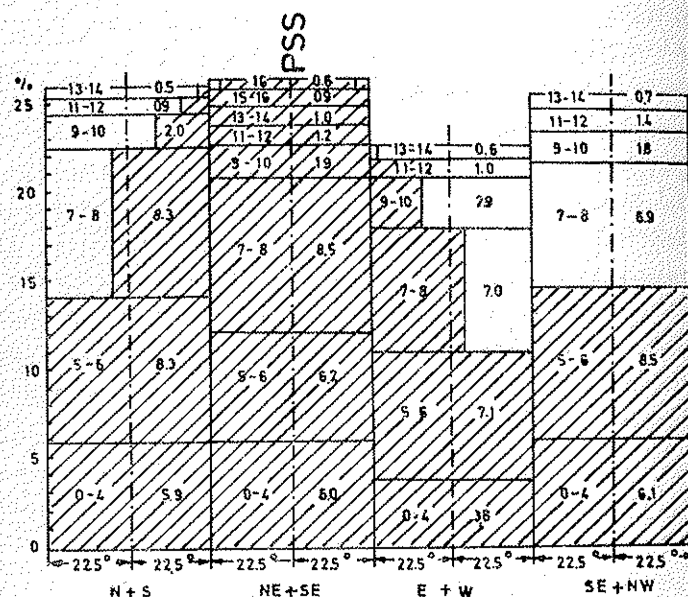
Radi primera, predpostavimo da se poletanje ili sletanje aviona dozvoljava pri brzinama bočnog vetra od 6 m/s (V_b=6 m/s) tada avion može sleteti ili poleteti pri svakom uglu pa i kada je γ=90°. Medjutim, ako je izmerena brzina vetra 12 m/s, poletanje ili sletanje se dozvoljava samo kada pravac vetra u odnosu na PSS zaklapa ugao manji od 30°, odnosno, kada je $\gamma \leq 30°$. Za avione koji mogu poleteti ili sleteti pri bočnom vetra od 10 m/s (V_b =10 m/s) ako je brzina vetra 12 m/s, ugao nagiba (γ)mora biti manji od 56° i veći od 30°.

Prema tome, za potrebe projektovanja PSS treba obraditi višegodišnje podatke o vetru, ali tako, da se neposredno koriste u izloženim formulama. Za obradu se primenjuje metod nalaženja verovatnoće različitih intervala brzine vetra po pravcima ili metod svedene ruže vetra. Ovaj poslednji, zasniva se na predpostavci da se kod većine aerodroma projektuje samo jedna PSS iz dva suprotna pravca. Prema ovom metodu nalazimo verovatnoću različitih brzina vetra, ali po svedenim pravcima. Radi primera, daje se sledeća tablica sa svedenim pravcima (G. J.Narovljanski, 1968):

Brzina vetra	S v e d e n i	p r a v c i			
m/s	N+S	NE+SW	E+W	SE+NW	Z b i r
0-4	5.9	6.0	3.8	6.1	21.8
5-6	8.3	6.2	7.1	8.5	3o.1
7.8	8.3	8.5	7.0	6.9	3o.7
9-10	2.0	1.9	2.9	1.8	8.6
11-12	0.9	1.2	1.0	1.4	4.5
13-14		1.0	0.6	0.7	2.8
15-16		0.9			0.9
16		0.6			0.6
Z b i r	25.9	26.3	22.4	25.4	100

Iz ovih podataka sastavlja se grafikon svedene ruže vetra sa intervalima brzina. Verovatnoće javljanja u procentima nanose se na ordinatu, a pravci na apscisu. Levo i desno od ose

svedenog pravca izdvajaju se delovi sektora koji odgovaraju uglu od 22.5. Na sl.5.12. je prikazan grafikon za proračunavanje opterećenja vetra na PSS metodom ruže vetra sa svedenim pravcima. Visina, prva četiri pravougaonika, odgovara prvom intervalu brzine, a osnovica odgovarajućim pravcima. Površina prvog pravougaonika je proporcionalna verovatnoći vetra koji ne prelazi 4 m/s i po pravcu ne odstupa od severnog ili južnog pravca za ugao koji nije veći od 22.5; površina drugog takodje je proporcionalna istoj brzini ali po pravcu odstupa od severoistočnog ili jugozapadnog za ugao koji nije veći od 22.5 itd.



Sl. 5.12. Proračun opterećenja vetrom na PSS pomoću svedene reže vetra (G.J. Narovljanskij, 1968)

Radi lakšeg pregleda u svakom pravougaoniku se nalazi odgovarajući interval brzine vetra i njegova čestina javljanja (verovatnoća). Ukupna površina svih pravougaonika je 100%. Od ukupne površine izdvaja se deo koji je proporcionalan broju slučajeva kada brzina bočnog vetra ne prelazi unapred odredjenu vrednost, i to se radi na sledeći način.

Predpostavimo da je PSS tako projektovana da se pruža u pravcu severoistok-jugozapad i za avione za koje se

predvidja brzina bočnog vetra V_b=6 m/s. Kako je već izračunata tablica na osnovu prethodne formule o dovzoljenom uglu nagiba (γ_D) pri različitim vrednostima brzine vetra i dovozljene vrednosti bočnog vetra (V_b), dobijamo sledeće odnose:

V_b=6 m/s		V_b=8 m/s		V_b=10 m/s	
U m/s	γ_D	U m/s	γ_D	U m/s	γ_D
0-6	90	-	-	-	-
8	49	0-8	90	-	-
10	37	0	53	0-10	90
12	30	2	42	12	56
14	25	4	35	14	46
16	22	6	30	16	39

Lako je videti da se poletanje ili sletanje ovih aviona može izvršiti pri svakom pravcu vetra, osim kada su brzine veće od 6 m/s, pošto je γ_D=90°. Verovatnoća ovih vetrova predstavljena je površinom pravih osam osenčenih pravougaonika na grafikonu čiju vrednost dobijamo sabiranjem:

$$P_1 = 21.8 + 30.1 = 51.9\%$$

Iz tablice, se takodje može uočiti da se poletanje ili sletanje može izvršiti i pri vetru od 7 do 8 m/s, ako je ugao izmedju vetra i pravca PSS manji od 49°. Na grafikonu izdvajamo površinu koja odgovara verovatnoći ovakvog vetra, a to su delovi površine levo i desno od PSS koji odgovaraju uglovima od 49°, zatim, povučemo dve vertikalne linije dobijajući deo površine sa brzinom 7-9 m/s. Verovatnoća P_2 obuhvata, dakle, severioistočne i jugozapadne pravce sa brzinom 7-9 m/s (8.5%), verovatnoću severnog i južnog (0.6 x 8.3%) i istočnog i zapadnog (0.6 x 7.0%) sa brzinom 7-8 m/s. Koeficijent 0.6 je razlika 49-22.5 podeljena sa 45.

Na ovaj način za P_2 dobijamo:

$$P_2 = 8.5 + 0.6 \times 8.3 + 0.6 \times 7.0 = 17.7\ \%$$

Verovatnoću P_3 iskazujemo površinom pravougaonika dobijenom za brzinu vetra 9-10 m/s i ugao nagiba γ_D=37%, a računamo kao sumu verovatnoće za severoistočni i jugozapadni

vetar (1.9%) za severni i južni (2.0%) i istočni i zapadni vetar (2.9%), ali pomnožen koeficijentom 0.3. Prema tome za P_3 dobijamo:

$$P_3 = 1.9 + 0.3 \times 2.0 + 0.3 \times 2.9 = 3.4\%$$

Analogno prethodnom izračunavanju dobijamo verovatnoće za P_4, P_5, P_6 i P_7, odnosno za verovatnoće vetra pogodne za poletanje i sletanje pri vetru 11-12; 13-14;15-16; $i > 16$ m/s.

Na prikazanom grafikonu (sl.5.12) opterećenje vetrom na PSS upravo je proporcionalno osenčenoj površini, a brojno jednako je:

$$P(U_b \leq 6\, m/s) = \sum_{n=1}^{7} P_n = 77\% \qquad (5.14)$$

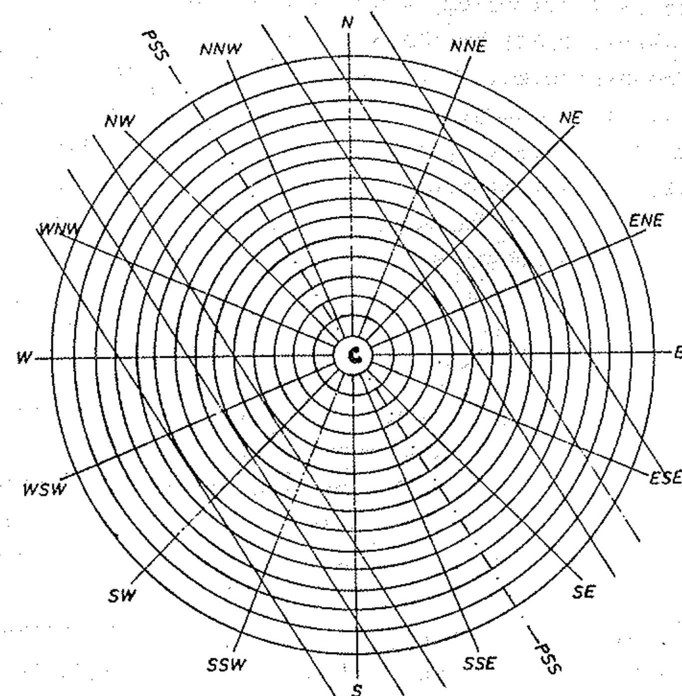
Slično već prikazanom proračunu može se računati i opterećenje vetrom na PSS za V_b=8 m/s, V_b= 10 m/s itd. Očigledno da je $P(U_b \leq 10$ m/s$) > P(U_b \leq 8$ m/s$) < P(U_b \leq 6$ m/s$)$.

Metod svedene ruže vetra koristi se takodje za proračun verovatnoće uzdužne (čeone ili repne) komponente vetra (U_u) koja je veća od unapred odredjene vrednosti (V_u).

Za nalaženje verovatnoće vetra kod koje je bočna komponenta veća ili manja od unapred odredjene vrednosti koriste se i drugi metodi (G.J.Narovljanskij, 1968).

Uopšte se može reći, da se za ocenu uticaja vetra na uslove eksploatacije aerodroma moraju poznavati brojne "vazduhoplovno-klimatološke" karakteristike vetra. Tako naprimer, za pojedine vrste aviona postoje preporuke Medjunarodnih i nacionalnih organizacija o veličinama dozvoljenih komponenti bočnog vetra. U nas Savezna uprava za civilno vazduhoplovstvo (SUCVP) daje ograničenja za bočne komponente u zavisnosti od aerodroma na obali ili u unutrašnjosti kopna. Za neke tipove aviona JAT je usvojio veličine bočne komponente koje zavise od koeficijenta trajanja na PSS, naprimer, za DC-9 35 kts za suvu PSS i 20 do 5 kts za PSS od 04 do 020.

Postoje i drugi načini predstavljanja prostorne raspodele vetra i njegovog uticaja na PSS. Na sl.5.13. prikazan je "polarni dijagram", koji se sastavlja na osnovu podataka o pravcu, brzini i čestini javljanja (verovatnoći vetra). Koncentrični krugovi su brzine vetra; na preseku pravca i brzine su čestine javljanja vetra iz tog pravca, a u centru kruga su tišine.



Sl.5.13. Polarni dijagram

Kroz centar polarnog dijagrama prolazi osa PSS. Paralelno sa njom su tangente povučene na krug koji označava brzinu bočne komponente koja je dozvoljena (unapred odredjena).

5.5.1 Istovremeni uticaj temperature i vetra na PSS

Kako na dužinu poletanja (rulanja) ili sletanja utiču temperatura vazduha i vetar često se kod projektovanja PSS razmatra istovremeni uticaj ova dva meteorološka elementa. Za izračunavanje gustine raspodele temperature i uzdužne (čeone ili repne) komponente brzine vetra koristi se sledeća formula:

$$(T,V) = \frac{1}{2\pi \sigma_T \sigma_V \sqrt{1-r^2}} \exp\left\{-\frac{1}{2(1-r^2)}\left[\frac{(T - T^2)}{\sigma_T^2} - \frac{2r(T-\bar{T})(V-\bar{V})^2}{\sigma_T \sigma_V} \frac{(V-\bar{V})^2}{\sigma_V^2}\right]\right\} \qquad (5.15)$$

$\overline{T}$ je srednja temperatura, $\overline{V}$-srednja brzina uzdužne komponente vetra, r-koeficijent korelacije (izmedju $\overline{T}$ i $\overline{V}$), σ_T i σ_V su srednje kvadratno odstupanje temperature i uzdužne komponente vetra. Predpostavljeno je da su temperature vazduha i uzdužne komponente brzine vetra slučajne veličine, pa se njihova raspodela podčinjava dvodimenzionalno normalnoj raspodeli.

Da bi se računala složena i integralna verovatnoća remperature i vetra potrebno je poznavati pet parametara ($\overline{T}, \overline{V}, r, \sigma_T$ i σ_V).

5.5.2 Oblačnost i karakteristična vremenska stanja

Za održavanje redovnog i bezbednog avionskog saobraćaja potrebno je još u fazi projektovanja aerodroma imati obradjene podatke o oblačnosti, vrstama oblaka i njihovim čestinama javljanja, zatim,visine baze i debljine niske oblačnosti i magle, i podatke o karakterističnim stanjima u prizemnom sloju atmosfere, posebno o inverzijama.

Takodje se traže podaci o vidljivosti. Naime, podaci o horizontalnoj vidljivosti odredjuju uslove leta pri različitim vremenskim uslovima.

Niska oblačnost i slaba vidljivost onemogućuju bezbedno sletanje ili poletanje vazduhoplova. Nadležni medjunarodni i nacionalni vazduhoplovni organi propisuju uslove za poletanje i sletanje pri oblačnosti i vidljivosti. Uopšte, u završnoj fazi leta mora se imati vizuelni kontakt sa zemljom, iako aerodom raspolaže savremenim automatskim navigacionim uredjajima. Propisi predvidjaju za svaki aerodrom posebno visinu baze niske oblačnosti ili pridignute magle, i daljinu horizontalne vidljivosti, pri kojima se mogu izvršiti sletanja i poletanja aviona, a u zavisnosti od opremljenosti aerodroma i raspodele objekata, pravca PSS, konfigruracije terena i dr. lokalnih uslova na aerodrumu. Tako, naprimer, prema propisima SUCVP, odnosno JAT-a na aerodromu "Beograd" za pravac PSS RW 12 i navigaciona sredstva ILS ili PAR sletanje ili poletanje se ne može izvršiti ako je baza niske oblačnosti ili pridignute magle ispod 70 m a horizontalna vidljivost manja od 0.6 km.

Imajući u vidu ovakve zahteve u propisima, statistička obrada podataka o oblačnosti i vidljivosti sastoji se

najčešće u obradi niske oblačnosti i daljine horizontalne vidljivosti. Takodje se koriste i složenije statističke obrade oblačnosti, vidljivosti i atmosferskih pojava kako bi se izdvojili karakteristični vremenski uslovi pri kojima se primenjuju odredjeni načini upravljanja vazduhoplovom pri sletanju ili poletanju.

Kod obrade meteoroloških podataka za projektovanje i gradnju PSS, osim o nabrojanim meteorološkim elementima i pojavama, vodi se računa i o statističkoj obradi podataka o snežnom pokrivaču i zaledjivanju tla i nadzemnih predmeta. Meteorološka podloga najčešće sadrži i podatke o ovim elementima kao što su datumi prvog i poslednjeg dana sa snežnim pokrivačem, verovatnoću javljanja različite visine snežnog pokrivača, srednje dekadne visine i čestine javljanja, a takodje i gustine snežnog pokrivača po dekadama. Raspodela snežnog pokrivača na aerodromu zavisi od reljefa i stepena zaštićenosti aerodroma od vetra.

Eksploatacija aerodroma zimi složena je kako zbog velike čestine javljanja niske oblačnosti, magle, smanjene vidljivosti, padanja snega, stvaranja snežnog pokrivača, tako i zbog taloženja naslaga poledice na PSS i nadzemnim predmetima, pa i na vazduhoplovima postavljenim izvan hangara. Natoložena naslaga poledice na PSS veoma je opasna za sletanje i poletanje i uopšte manevrisanje aviona na PSS. O čestini javljanja, trajanju različitih dimenzija i vrsta naslaga može se doznati samo na osnovu podataka o zaledjivanju provodnika i iz osmatranja o stanju tla. Detaljniji opisi zaledjivanja provodnika su u prvom delu tehničke meteorologije.

Za aerodrome koji se projektuju sa zemljanom PSS neophodni su i podaci o vlažnosti zemljišta. osim već nabrojanih. Eksploatacija ovakvih aerodroma, u prvom redu, zavisi od podloge PSS ,odnosno od čvrstine i trajnosti zemljane PSS i površine stajališta aviona. Normalna eksploatacija aerodroma sprovodi se sve dok je otpornost PSS u granicama propisanih vrednosti pritiska na podlogu za različite vrste aviona. Noseća površina PSS zavisi od vlažnosti zemljišta, njegovog sastava i gustine. Vlažnost zemljišta pak, zavisi od režima padavina, temperature vazduha i nivoa podzemnih voda i oticanja površinskih voda. Ako

je velika količina padavina pri niskoj temperaturi vazduha biće veća i vlažnost zemljišta, a noseća površina PSS postaje slabija pa kretanje aviona postaje veoma usporeno.

Meteorološka podloga za projektovanje ovakvih aerodroma sadrži, pored navedenih meteoroloških podataka, i podatke o režimu snežnog pokrivača, temperaturi vazduha (čestini javljanja temperature od 0° i 5°), broju dana sa mrazom na površiji zemlji i na raznim dubinama, o režimu padavina, a naročito o maksimalnoj mesečnoj količini padavina koja se javlja jednom u 10,20 i 30 godina, i verovatnoći pljuskovitih padavina različitog trajanja i intenziteta.

Za projektovanje svih vrsta aerodroma, nadzemnih i pozdemnih, neophodno je obraditi i podatke o oticanju pljuskovitih padavina i otopljenog snega. Jedan od osnovnih parametara kod proračuna je i veličina maksimalnog oticanja od koga zavise projektovanje i dimenzionisanje kanalizacione mreže i odvodnih kanala.

Na kraju ovog dela, treba ukazati i na to da je za izbor lokacije, projektovanje i izgradnju aerodroma potrebno koristiti samo podatke višegodišnjih omsatranja i merenja, ali sa glavnih meteoroloških stanica koje raspolažu potpunijim prrogramima osmatranja, dakle, časovnim osmatranjima i kontinuiranim registracijama. U slučaju nedostataka ovakvih podataka treba koristiti i podatke klimatoloških (običnih) stanica. Osim ovih podataka, meteorološka podloga za projektovanja aerodroma mora biti dopunjena i podacima terenskih merenja i ispitivanja, a naročito mikroaerološkim o promeni temperature, pritiska i vetra sa visinom i to u lokalitetu budućeg aerodroma.

L I T E R A T U R A :

Bin, B.R., Datton, E.Dž.: Radiometeorologija, Gidrometeoizdat 1971., Leningrad

Bogh, P., Hopkirk, R. Junod, A., Zuend, H.: A New Method of Assessing the Environmental Influence of Cooling Towers as first Applied to the Kaiseraust and Leibstadt Nuclear Power Plants, Techn. Meeting No 9/25 Nuclex, 1972. Basel.

Dobrilović Borivoje: Godišnji hod temperature tla u Beogradu MP fakultet-meteorološki zavod 1957. Beograd

Doluhanov, M.P.: Rasprostranenie radiovaln. IZ "SVJAZ 6" 1965. Moskva

Narovljanskij G.J.: Aviacionnaja klimatologija, Gidrometizdat, 1968, Lenjingrad

Vujević Dr.P.: Temperature tla u Beogradu, Glas srpske Kr. Akademije Nauka LXXIX Prvi razred 32, Beograd 1909.

6. PROGRAMI TEHNIČKE METEOROLOGIJE ZA POTREBE PRIVREDE

6.1 Elektroprivreda

6.1.1 Klasične termoelektrane

6.1.1.1 Meteorološka podloga za izbor lokacije termoelektrane i raspored pratećih objekata:

-klimatološke karakteristike lokaliteta,

-podaci o stabilnosti atmosfere u lokalitetu na osnovu podataka glavne meteorološke stanice (Paskvilova, Sepešijeva i dr. kategorizacije),

-kategorizacije stabilnosti na osnovu podataka gradijentnih merenja temperature vazduha,

-režim vetra u različitim kategorijama stabilnosti atmosfere.

6.1.1.2 Specijalna merenja meteoroloških i fizičko-hemijskih parametara u lokalitetu buduće termoelektrane:

-merenje i osmatranje meteoroloških parametara na specijalnoj meteorološkoj stanici i pomoćnim stanicama: temperature i vlažnosti vazduha, vetra, padavina, vazdušnog pritiska, zaledjivanja, snežnog pokrivača, sunčevog zračenja, atmosferskih električnih pražnjenja, atmosferskih pojava, oblačnosti, vidljivosti i dr. meteoroloških elemenata i pojava,

-merenje fizičko-hemijskih parametara na specijalnoj stanici i mernim punktovima: standardna merenja prizemne koncentracije sumpordioksida i dima pomoću 24-časovnog uzorka i automatskim registrirnim instrumentima, prikupljanje taložnih materija (sedimenata), uzoraka padavina i dr. štetnih materija u vazduhu.

6.1.1.3 Visinska merenja meteoroloških parametara pomoću mikroradio-sondažnog sistema, podataka pomoćnih stanica koje se nalaze na različitim nadmorskim visinama i pilot-balonom:

-promene temperature i vlažnosti vazduha i pravca i brzine vetra sa visinom;

-čestine javljanja različitih kategorija stabilnosti (Sepešijeve i dr. kategorizacije);

-profil vetra u svakoj kategorizaciji stabilnosti.

6.1.1.4 Terenska ispitivanja zagadjenosti vazduha i mikrometeorološka merenja radi utvrdjivanja prostorne raspodele fona zagadjenosti vazduha:

-terenska merenja sumpor-dioksida u karakterističnim vremenskim situacijama;

-raspodela temperature vazduha i vetra,

-mikrosondažni podaci o gradijentu temperature i profilu vetra.

6.1.1.5 Katastar zagadjivača;

-položaj i vrsta industrijskih izvora zagadjenosti u lokalitetu, količina štetnih materija uneta u atmosferu, način emisije, dimenzije izvora i dr. tehnološki podaci o izvoru;

-procena broja i vrste domaćih ložišta procena unošenja sumpordioksida i čestične zagadjenosti u atmosferu lokaliteta budućih termoelektrana.

6.1.1.6 Izrada elaborata o meteorološkim podlogama za projektovanje i gradnju klasične termoelektrane:

-meteorološki podaci za projektovanje i gradnju: srednje i ekstremne temperature suvog i vlažnog termometra za višegodišnje nizove osmatranja, prosečna mesečna i godišnja temperatura vazduha, apsolutni maksimum i minimum

temperature vazduha, prosečna mesečna relativna vlažnost leti i zimi, težina i dimenzije ledenih naslaga, njihova maksimalna i srednja vrednost, padavine, maksimalni pritisak vetra, verovatnoća računate maksimalne brzine i pritiska vetra na različitim visinama, čestine javljanja mesečnih maksimalnih brzina iz glavnih pravaca, čestine pravaca vetra i intervala odredjenih brzina i tišina, promene pravca vetra sa visinom, isparavanje i dr.

6.1.1.7 Meteorološki parametri za klimatizaciju i dimenzionisanje rashladnih tornjeva:

-srednja mesečna temperatura i ekvivalentna temperatura vazduha;

-srednja mesečna temperatura suvog i mokrog termometra;

-srednji broj dana, najveći i najmanji sa odredjenom temperaturom vazduha 20°C;

-ukupna čestina perioda sa maksimalnom temperaturom vazduha 25° i 30°C;

-period sa maksimalnom temperaturom vazduha≥25;

-period sa maksimalnom temperaturom vazduha≥30;

-srednji,najveći i najmanji broj dana sa naponom vodene pare 12.3 mm i danima sa temperaturom vazduha ≥20°C;

-čestine perioda uzastopnih dana sa odredjenom temperaturom vazduha;

-ukupna čestina dana sa odredjenom ekvivalentnom temperaturom vazduha;

-ukupna čestina dana sa odredjenom ekvivalentnom temperaturom od maja do oktobra;

-odnos izmedju temperature vazduha i ekvivalentne temperature vazduha u 14 čas. U danima sa temperaturom 20°C od maja do oktobra;

-parametri okolnog vazduha za dimenzionisanje rashladnih tornjeva: temperatura i relativna vlažnost i brzina vetra kompleksno razmotreni;

-krive trajanja časovnih vrednosti mokrog i suvog termometra;

-režim vetra (čestine odredjenih intervala brzine vetra u toku leta);

-trajanje temperature mokrog termometra od 16 do 24°C (u čas. po mesecima za višegodišnji niz);

-suma i kumulativna suma trajanja temperature mokrog termometra od 16 do 24°C;

-srednje trajanje i srednje kumulativno trajanje temperature mokrog termometra od 15 do 24°C;

-trajanje temperature mokrog termometra od 4 do 24°C;

-suma i kumulativna suma trajanja temperature mokrog termometra od 4 do 24°C;

-režim vetra.statička i dinamička komponenta vetra,pritiska vetra, itd.

6.1.1.8 Zaštita životne sredine:

-utvrdjivanje postojećeg fona zagadjenosti (SO_2, NO_x i dim) i izrada karata teritorijalne i vremenske raspodele zagadjenosti vazduha u lokalitetu buduće termoelektrane. Proračun visine dimnjaka;

-specijalna obrada meteoroloških podataka sa specijalne meteorološke stanice, i obrada visinskih merenja sa pomoćnih stanica u lokalitetu buduće termoelektrane,

-statistička obrada standardnih meteoroloških elemenata i pojava potrebnih za procenu klimatskih karakteristika u lokalitetu buduće termoelektrane,

-statistička obrada standardnih i visinskih podataka o gradijentu temperature vazduha i utvrdjivanje karakterističnih stanja atmosfere prema Paskvilovoj, Sepešijevoj ili Tarner-Paskvilovoj kategorizaciji,

-statistička obrada podataka o vetru radi utvrdjivanja promene vetra sa visinom, a na osnovu standardnih i visinskih merenja u širem lokalitetu buduće termoelektrane,

-čestine javljanja odredjenih dijapazona brzine vetra iz različitih pravaca za svako karakteristično stanje atmosfere (kategorizacija),

-proračun prostorne raspodele srednje koncentracije SO_2 u lokalitetu buduće termoelektrane, a na osnovu meteoroloških i fizičko-hemijskih parametara izvora (za svaku kategoriju stabilnosti dati raspodelu koncentracije u zavisnosti od visine dimanjaka).

6.1.2 Dalekovodi

6.1.2.1 Verovatnoća računate maksimalne brzine i pritiska vetra duž trase dalekovoda,koja se javlja jednom u 5,10 ,15 20 ili više godina (u zavisnosti od vrste i napona dalekovoda). Čestine javljanja maksimalnih brzina vetra iz glavnih pravaca duž trase dalekovoda. Promene pritiska vetra sa visinom u različitim lokalitetima duž trase dalekovoda.

6.1.2.2 Verovatnoća računate maksimalne težine ledene naslage ili mokrog snega koja se javlja jednom u 5,10,15 ili 20 godina, a u zavisnosti od prečnika provodnika i zaštitnog užeta. Verovatnoća računate maksimalne debljine zida ledene naslage.

6.1.2.3 Proračun istovremenog dejstva maksimalnog prečnika naslage i maksimalne brzine vetra koja se javlja pri zaledjivanju provodnika

6.1.2.4 Preovladjujuće vazdušne strujnice u periodu zaledjivanja duž trase dalekovoda.

6.1.2.5 Raspodela srednjeg višegodišnjeg broja atmosferskih električnih pražnjenja prema zemlji duž trase dalekovoda. Verovatnoća broja udara groma u dalekovod u zavisnosti od broja dana sa grmljavinama, i napona dalekovoda.

6.1.2.6 Podaci o zagadjenosti vazduha u industrijskim lokalitetima kroz koje prolazi

trasa dalekovoda:

-karte o teritorijalnoj raspodeli oštećenja i ispada elektroprenosnih sistema usled zagadjenosti vazduha,

-katastar zagadjivača koji utiču ili mogu uticati na elektroprenosni sistem, za trafo stanice ili delove dalekovoda koji će se nalaziti u lokalitetima velikih industrijskih objekata,prikupiti podatke o istovremenim meteorološkim i fizičko-hemijskim merenjima, a naročito o čestinama javljanja, trajanju, vrsti i veličini koncentracije zagadjenog vazduha na različitim vrstama izolatora.

-izbor najpovoljnije trase i lokacije trafo-stanice u industrijskom lokalitetu sa jakim izvorom zagadjenja, koji je sačinjen na osnovu kompleksne analize meteoroloških i fizičko-hemijskih parametara.

6.1.2.7 Terenska mikrometeorološka ispitivanja duž trase dalekovoda: prikupljanje izveštaja o havarijama usled vetra, zaledjivanja, atmosferskih električnih pražnjenja, zagadjenosti vazduha na postojećim dalekovodima, PTT linijama veze, drveću i dr. objektima duž trase dalekovoda.

6.1.2.8 Meteorološki podaci o temperaturi i vlažnosti tla, dubini zamrzavanja, atmosferskim pojavama, snežnom pokrivaču i drugim potrebnim podacima za izgradnju temelja, stubova, trafo-stanica i dr.

6.1.2.9 Dostavljanje podataka o prognozi vremena i radarskim osmatranjima o kretanju grmljavinskih nepogoda u cilju zaštite pri izgradnji dalekovoda. U eksploataciji dalekovoda: redovno dostavljanje prognoze vremena o izgledima zaledjivanja provodnika, udarima jakog vetra i grmljavinskim nepogodama.

6.1.3. Površinski kopovi uglja

6.1.3.1 Prizemna standardna meteorološka osmatranja na specijalnoj meteorološkoj stanici na površinskom kopu.

6.1.3.2 Redovna dnevna dostavljanje podataka o temperaturi i vlažnosti vazduha, pravcu i brzini vetra i drugim potrebnim parametrima za rad na površinskom kopu. Informacija sadrži i dnevnu prognozu vremena i podatke o radarskim osmatranjima.

6.1.3.3 Meteorološki izveštaji i elaborati za potrebe planiranja radova i remont mašina kao i utvrdjivanju uticaja meteoroloških uslova na proizvodnju uglja:

-srednje časovne, dnevne, mesečne, sezonske, polugodišnje i godišnje vrednosti,

-maksimalna i minimalna mesečna, sezonska, za toplu i hladnu polovinu godine i godišnja.

-datumi prvog i poslednjeg dana i trajanja perioda sa karakterističnim srednjim dnevnim temperaturama vazduha.

-mesečni i godišnji broj dana sa karakterističnim ekstremnim temperaturama vazduha,

-srednje časovne, dnevne, mesečne, sezonske polugodišnje i godišnje vrednosti,

-srednje časovne dnevne i mesečne, sezonske i godišnja vrednost brzine vetra.

-čestine javljanja odredjenih dijapazona brzine vetra iz različitih pravaca,

-verovatnoća računate maksimalne brzine i pritiska vetra,

-čestina javljanja mesečnih maksimalnih brzina vetra iz različitih pravaca,

-srednje mesečne, sezonske, polugodišnje i godišnje količine padavina,

-maksimalna mesečna i godišnja količina padavina,

-maksimalne jednodnevne do petodnevne količine padavina,

-srednje časovne, dnevne, mesečne i godišnje vrednosti pritiska,

-srednje časovne, dnevne i mesečne vrednosti isparavanja,

-čestine javljanja odredjenih dijapazona isparavanja,

-pregled vrsta ledenih naslaga i njihove dimenzije, po mesecima; trajanje perioda zaledjivanja,

-maksimalne vrednosti prečnika, debljine i težine različitih vrsta naslage,

-verovatnoća maksimalne težine ledenih naslaga i mokrog snega (kg/m),

-srednje temperature zemljišta po mesecima, sezonama i godišnje,

-ekstremne temperature zemljišta,

-vrednosti vlažnosti zemljišta na različitim dubinama po mesecima,

-srednje dnevne, mesečne, sezonske i godišnja količina globalnog sunčevog zračenja na horizontalnu površinu,

-trajanje sunčevog sijanja (u časovima) i iznos oblačnosti,

-raspodela broja atmosferskih električnih pražnjenja po mesecima,

-srednji godišnji broj pražnjenja prema zemlji,

-čestine javljanja i trajanja magle i sumaglice različitih intenziteta,

-srednja mesečna oblačnost (ukupna),

-čestina javljanja ukupne pokrivenosti neba,

-čestine javljanja magle i niske oblačnosti,

-čestine javljanja vidljivosti po mesecima,

-meteorološki dijagrami za potrebe plani-

ranja radova na površinskom kopu i za remont mašina.

6.1.3.4 Borba protiv magle (obrada postojećih meteoroloških podataka sa specijalne meteorološke stanice), meteorološka i fizičko-hemijska ispitivanja na kopovima, izbor mesta za postavljanje fizičko-hemijskih uredjaja kod kranova, prenosnih traka i dr.

6.2 Gradjevinarstvo

6.2.1 Projektovanje i gradnja gradjevinskih objekata i konstrukcija

-sunčevo zračenje (globalno i difuzno na horizontalnu površinu, globalno i difuzna osvetljenost na horizontalnu ravan; trajanje osunčavanja i oblačnosti, tablica dnevne promene azimuta i visine sunčevog zračenja i dr.

-temperatura vazduha, opšte karakteristike temperature vazduha i zagrejavanje prostorija; promene temperature vazduha sa visinom (uključujući verovatnoću javljanja inverzije) i drugi parametri,

-vlažnost vazduha (opšte karakteristike vlažnosti vazduha, napon vodene pare) i trajanje i intenzitet magle,

-temperatura zemljišta na raznim dubinama i periodi sa temperaturom ispod 0°C,

-čestine javljanja visine baze niske oblačnosti,

-padavine (opšte karakteristike padavina, intenzitet jakih kiša, trajanje jakih kiša i drugo),

-sneg (težina snega, prvi i poslednji datum sa snegom i snežnim pokrivačem),

-vetar (verovatnoća računate maksimalne brzine i pritiska vetra, čestina javljanja jakog vetra iz glavnih pravaca, promene brzine vetra sa visinom, preovladjujuće vazdušne strujnice po mesecima, sezoni i godini i dr),

-isparavanje (isparavanje sa zasićene površine).

-podaci o zagadjenosti vazduha,

-broj atmosferskih električnih pražnjenja i verovatnoća broja udara u gradjevinski objekat ili konstrukciju.

6.2.2 Planiranje naselja u lokalitetu industrijskih objekata

-opšte klimatske karakteristike lokaliteta,

-karakteristična vremenska stanja značajna za kontrolu zagadjenosti vazduha i saobraćaj,

-čestine javljanja magli odredjenog perioda trajanja i pri ovima temperatura vazduha,

-sunčevo zračenje (količina sunčeve energije na zemljinoj površini -efekat nagiba i na zidove zgrada),

-vetar (čestina javljanja odredjenih intervala temperature vazduha ispod 0°C, periodi hladnog vazduha,

-izloženost kiši (čestine odredjenih brzina vetra iz različitih pravaca vetra pri kiši, indeks uveličanja kiše i njegove lokalne promene u zavisnosti od reljefa,

-izloženost snega (promene brzine vetra pri snegu, čestine javljanja odredjenih intervala brzine vetra pri padanju snega,

-vlažnost zemljišta (odnos količine padavina i isparavanja-transpiracija, u zavisnosti od vrste zemljišta),

-drenaža i rizik od poplava (statistički podaci o trajanju, čestini javljanja i intenzitetu padavina u zavisnosti od topografskih činilaca),

-akumulacija snega (debljina snežnog pokrivača i ekvivalent vlažnosti),

-vetar (preovladjujuća vazdušna strujanja po mesecima, čestine javljanja srednje časovne brzine vetra, režim vetra i raspored zgrada i ulica u industrijskom lokalitetu,

-zaledjivanje (dodatno opterećenje usled ledenih naslaga i mokrog snega na gradjevinske objekte i konstrukcije),

-niska oblačnost (čestine i trajanje niske oblačnosti i dr.

6.2.3. Projektovanje i gradnja visokih i velikih gradjevinskih objekata i konstrukcija

-vetar (verovatnoća računate maksimalne brzine i pritiska vetra koji se javljaju jednom u 20 i više godina, dinamički pritisak vetra, i drugi parametri vetra,

-opterećenje snegom (težina snega i kiše koju je snežni pokrivač apsorbovao, odnos težine snega i aerodinamičkog koeficijenta gradjevinskog elementa, objekta ili konstrukcije),

-opterećenje usled ledenih naslaga,

-meteorološki elementi za procenu ekstremnih temperatura materijala (podaci o temperaturi vazduha, sunčevom zračenju, vlažnosti vazduha i dr. elementima),

-meteorološki podaci za projektovanje temelja (odnos padavina i isparavanje, sušenje i vlaženje zemljišta sa dubinom i td.),

-prolaz kiše kroz otvore visokog gradjevinskog objekta,

-indeks dejstva kiše (apsorpcija gradjevinskog materijala),

-upad snega kroz otvore visokog gradjevinskog objekta (čestina istovremenog dejstva vetra i snega),

-termička izolacija objekata (zagrevanje i hladjenje),

-prirodna ventilacija (dvoparametarska analiza brzine vetra i temperature vazduha u toku dana),

-uvlačenje dima u dimnjake (uticaj vetra na dimnu struju, inverzinje temperature u prizemnom sloju),

-tablice čestina ukupne osvetljenosti na horizontalnu površinu objekta,

i dr.

6.3 Radio-difuzija

6.3.1 Meteorološki podaci za projektovanje radio-veze na UK talasima

-vremenska raspodela pritiska i temperature vazduha i napona vodene pare duž trase radio-veze,

-vremenska raspodela indeksa refrakcije duž trase radio-veze,

-čestine javljanja atmosferskih pojava duž trase radio-veze,

-vremenska i prostorna raspodela padavina,

-raspodela broja dana sa odredjenom količinom padavina,

-čestine javljanja prizemne i pridignute inverzije na trasi radio-veze (klasifikacija inverzija),

-dnevne promene niske oblačnosti,

-gradijent vlažnosti u karakterističnim vremenskim stanjima (pogodnim za super refrakciju),

-odredjivanje sloja turublencije i njegove raspodele u troposferi,

-podaci o vidljivosti, radi procene slabljenja UK radio-talasa,

-podaci o temperaturi i vlažnosti vazduha radi procene slabljenja UK radio-talasa (12.5; 3.2 i 10 cm),

-podaci o intenzitetu padavina (1.0-25.0 mm/h) radi procene slabljenja UK radio-talasa (1.25; 3.2 i 10 cm),

-karte o prostornoj raspodeli broja dana sa grmljavinama (izokeraunička karta) po mesecima,

-karte o prostornoj i vremenskoj raspodeli broja atmosferskih električnih pražnjenja prema zemlji i ukupnog broja pražnjenja (sferika) po mesecima;

i td.

6.4 Programi za razne tehničke procese

-količina dnevne svetlosti: astronomska dužina dana i stvarno trajanje osvetljenosti (posebno u drugoj polovini dana),

-uticaj padavina na spoljne radove; ovaj odnos zavisi od brojnih činilaca. Najčešće se ispituju količine padavina pri kojima prestaje rad,

-toplotni uticaj na spoljnje radove: prodori hladnog vazduha u hladnoj polovini godine i njihov uticaji na gubitak toplote "Vindčil-indeks",

-rizik od havarije: u vezi je sa grmljavinskih nepogodama u toploj, i snežnim padavinama i zaledjivanjem u hladnoj polovini godine (jak vetar, pljuskovite padavine, ledene naslage),

-poplave i prestanak radova: pljuskovite padavine koje napune kopove i zaustave rad bagera-kopača, vozila i dr.,

-stanje tla: zasićenost zemljine površine (balans padavina i ispiranje za različite vrste zemljišta),

-snežni pokrivač: visina snežnog pokrivača koji onemogućuje kretanje po površinskim kopovima, saobraćajnicama,a takodje i rad prenosnih traka, vozila i dr.), snežni pokrivač, takodje pokriva stokiranu robu ili materijal,

-podaci o magli i snegu koji onemogućuju saobraćaj (prevoz potrebnog materijala i prevoz radnika),

-rad na velikim kranovima, bagerima, dizalicama i dr. sličnim konstrukcijama mora se prekidati u onim slučajevima kada udari vetra predju brzinu 14 m/s. Medjutim, opterećenja mogu onemogućiti neke operacije, iako su brzine vetra manje. Zbog toga je neophodno osim podataka o verovatnoći dodatnih opterećenja obraditi podatke o čestinama javljanja pojedinih udara, kao i promene brzine vetra sa visinom (naročito za lokalitete sa većim neravninama ili ispresecanom zemljištu, ili na izgradjenoj površini).

i dr.

DODATAK I

IZVODI IZ OPŠTE METEOROLOGIJE

1. IZVODI IZ OPŠTE METEOROLOGIJE

1.1. Sastav i struktura atmosfere

Spoljni gasoviti omotač Zemlje, atmosfera (od grčkih reči: ἀτμός =para i σφαῖρα =lopta) je mehanička smeša nekih stalnih gasova, hemijskih jedinjenja i razvnih gasovitih, tečnih i čvrstih pridodataka.

Gornja granica atmosfere nije jasno izražena, atmosfera postepeno prelazi u medjuplanentarni prostor. Ukupna njena masa iznosi oko $5,145 \times 10^{15}$ tona, koliko i milioniti deo mase Zemlje ($5,98 \times 10^{21}$ tona).

Približno 50% mase atmosfere nalazi se u prizemnom sloju, od zemljine površine do visine 5 km; 75% do 10 km; 90% do 16 km; 95% do 20 km i 99% ukupne mase zemljine atmosfere nalazi se u sloju od zemljine površine do visine oko 35 km.

1.1.1 Hemijski sastav atmosfere

Sastavni delovi atmosfere su gasovi koji su postojani u svojim medjusobnim razmerama, dok se pridodaci odlikuju veoma promenljivim udelom u atmosferi.

Sastojci atmosfere su njeni stalni gasovi: a z o t (N_2), k i s e o n i k (O_2), o z o n (O_3) - alotropija kiseonika, a r g o n (A_r), u g l j e n d i o k s i d (CO_2) i v o d e n a p a r a (H_2O). Ostali gasovi, tzv. "plemeniti gasovi" nalaze se u vrlo malim količinama, opažaju se samo tragovi, pa se pri ispitivanju fizičkih osobina vazduha zanemaruju.

U atmosferi se nalaze u vrlo velikom broju čvrste i tečne čestice nastale prirodnim ili industrijskim procesima, to su takozvani "pridodaci" atmosfere. Tako imamo čestice prašine, dima, kondenzovane vodene pare itd. koje obrazuju disperzioni sistem. Ovi se pridodaci gasovima u atmosferi nazivaju atmosferska a e r o s o l.

Vazduh bez aerosola i vodene pare naziva se suvi vazduh, a odlikuje se nepromenljivošću odnosa gasova. Zbog toga se u meteorologiji atmosferski vazduh naješšće posmatra kao smeša vazduha i vodene pare.

Osnovne komponente suvog vazduha ostaju postojane do velike visine. U tablici 1.1, navode se podaci o sastavu

suvog vazduha u sloju od zemljine površine do 25 km. Iz tablice je lako videti da se više od 99% suvog vazduha sastoji iz molekula azota i kiseonika, a nešto manje od 1% molekula argona i ugljendioksida; svi ostali obuhvataju samo 0.005% zapremine suvog vazduha.

Azot je sastojak mnogih organskih materija, kao što su one sa belančevinama, pa je neophodan za život. Inače je inertan gas, ali se pod uticajem električnog pražnjenja u atmosferi spaja sa kiseonikom i vodonikom stvarajući amonijak i šalitrenu kiselinu, koje kiše donose na zemljinu površinu. Na ovaj način se stvara prirodno djubrivo zemljišta.

Tablica 1.1

Gasovi	Molekularna težina	Zapremina u %	Gustina: Apsolutna (10^{-3} kg/m³) pri 1013,2 mbara	Gustina: U odnosu na suvi vazduh	Kritična temperatura (°C)
Azot (N_2)	28.016	78.04+0.004	1250	0.967	-147,2(33.5)
Kiseonik (O_2)	32.000	20.946+0.002	1429	1.105	-118.9(99.7)
Argon (A_r)	39.944	0.934+0.001	1786	1.379	-112.0(48.7)
Ugljendioksid (CO_2)	44.011	0.031+0.001	1977	1.529	31.0(73.0)
Neon (Ne)	20.183	$(18.18+0.04)10^{-4}$	900	0.695	-228.0(26.0)
Helijum (He)	4.003	$(5.24+0.004)10^{-4}$	178	0.138	-258 (2.3)
Metan (CH_4)	16.04	$1.5 \cdot 10^{-4}$	717	-	-
Kripton (K_r)	83.8	$(1.14+0.01)10^{-4}$	3736	2.868	-63. (54.0)
Azotdioksid (N_2O)	44.016	$(0.5+0.1)10^{-4}$	1978	-	-
Vodonik (H)	2.016	$0.5 \cdot 10^{-4}$	90	0.070	-239 (12.8)
Ksenon (Xe)	131.3	$(0.087+0.001)10^{-4}$	5891	4.524	16.6 (58.2)
Ozon (O_3)	48.000	leti od 0 do $7 \cdot 10^{-6}$ zimi od 0 do $2 \cdot 10^{-6}$	2140	1.624	-5 (92.3)
Sumpordioksid (SO_2)	64.066	od 0 do 10^{-4}	-	-	-
Ugljenmonoksid (CO)	28.011	od 0 do tragova	-	-	-
Suv vazduh	28.966	100	1293	1.000	-140.7 (37.2)

Kiseonik je vrlo aktivan sastojak atmosfere, jer održava sagorevanje i disanje, glavne uslove za život. Meteoro-

loški značaj je u tome, što donekle slabi sunčevo zračenje,naročito ultraljubičasto. Apsorbujući sunčevo zračenje kiseonik se disocira na atome koji se spajaju sa molekulama kiseonika, stvarajući u visokim slojevima atmosfere veoma značajne molekule ozona.

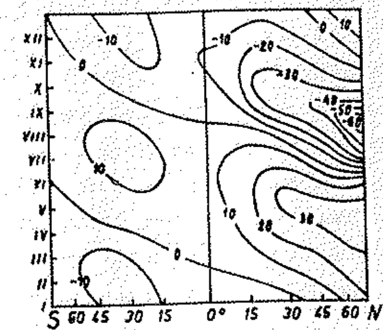
Argon u atmosferi je potpuno pasivan gas, kao i neon kripton i ksenon. U atmosferu dospeva uglavnom iz kalijuma koji se nalazi u zemljinoj kori, odnosno pri radioaktivnom raspadu izotopa kalijuma (K^{4o}).

Količine azota, kiseonika i argona ne menjaju se u vremenu i prostoru (prema geografskoj širini), vrlo malo se menjaju sa visinom. Količina izmerena na zemljinoj površini smanji se svega za 10% na visini oko 30 km.

Ugljendioksid je jedan od najvažnijih gasova u atmosferi, ne samo za život, već i za meteorologiju. Neophodan je za razvoj biljnog sveta, jer pod uticajem sunčevog zračenja postaje hrana biljaka. Sa meteorološkog gledišta ugljendioksid ima veliki značaj za procese apsorpcije i emisije toplotne energije u atmosferi: apsorbuje dugotalasno zračenje Zemlje sa intenzivnom apsorpcionom trakom od 12 do 16.3 μm i sunčevo zračenje u spektru uže trake od 2.3 do 3.o i od 4.2 do 4.4μm kao i u spektru široke trake izmedju 12 i 16 μm.

Ugljendioksid nastaje oksidacijom organskih jedinjenja,pri sagorevanju i oksidaciji; pri disanju organizma itd.Iz zemljine kore dolazi pri vulkanskim erupcijama. Zbog toga se količina ugljendioksida menja u toku vremena i u prostoru. U toku dana je manja, nego noću; zimi ugljendioksida ima više nego leti i u jesen. Nad kopnom ima ga više nego nad morima i okeanima. Predpostavlja se da morska voda apsorbuje ugljendioksid, koji se zatim, taloži na dnu. Ovi procesi su dosta složni, ali su nesumnjivo regulatori količine ugljendioksida u atmosferi.

Na sl.1.1 prikazana je promena CO_2 u atmosferi duž geografske širine i u toku godine. Izolinije pokazuju odstupanje od srednje vrednosti, koja iznosi 0.03145% zapremine; vrednosti su u desetim delovima procenta (prema B.Bolingu i C.D. Keelingu,1963).



Sl.1.1 Promena CO_2 u atmosferi (Boling i Keeling,1963)

Količina CO_2 zavisi i od lokalnih uslova:opažene su veće količine u naseljenim mestima i u industrijskim oblastima u kojima ponekad dostižu 0.05% zapremine. Činjenica je da se CO_2u atmosferi stalno povećava. Danas zaprema prosečno 0.033% zapremine,dok je 1900.godine ova iznosila 0.029% a 1935.godine 0.031%.Pretpostavlja se da je ovo povećanje u vezi sa naglim razvojem industrije. Na izgled ovo vrlo malo povećanje CO_2 u atmosferi ima veoma veliki uticaj na klimu Zemlje, povećavajući njenu toplotu. Zbog toga je količina CO_2 u atmosferi postala problem globalnih razmera, pa se danas posvećuje posebna pažnja njegovom proučavanju.

Količina ugljendioksida se vrlo lagano smanjuje sa visinom.

Od ostalih gasova koji ulaze u sastav atmosfere u malim ili neznatnim količinama, značajni su tzv. laki gasovi: vodonik, helijum, kao i alotropsko jedinjenje kiseonika-ozon.

Količina vodonika u prizemnom sloju zaprema u srednjem svega $5x10^{-5}$% prostora. Promene sa visinom i teritorijalno nisu dovoljno proučene. Prema najnovijim ispitivanjima, izgleda, da se na visinama od 800 do 900 km zemljina atmosfera sastoji uglavnom iz vodonika. Odavde ovaj postepeno prelazi u medjuplanetarni gas koji se sastoji pored atoma vodonika u malom broju i od atoma Ca, Na, K.Ti i Fe.

Helijum dolazi u atmosferu iz zemljine površine, u kojoj se stvara raspadom radioaktivnih materija. Količina helijuma u prizemnom sloju atmosfere je dosta postojana. Sa visinom se nešto povećava, medjutim, iznad 400 km se nalaze izrazito veće količine helijuma.

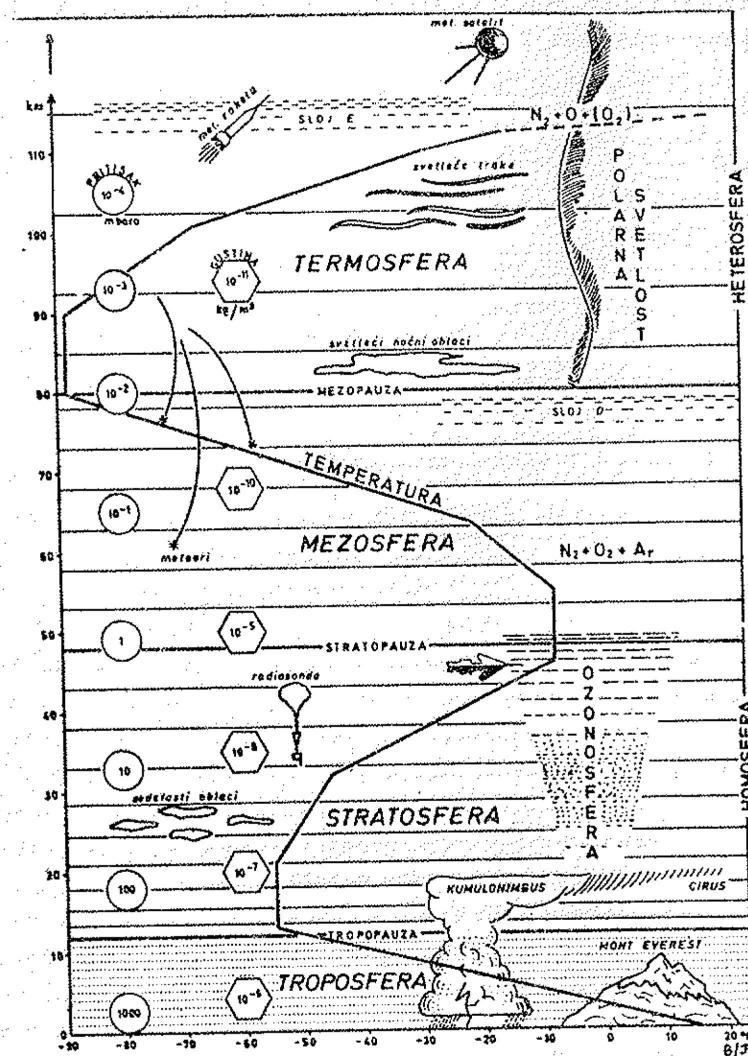
Kako helijum ne gori, jer se kao plemeniti gas ne jedini sa drugim materijama, ima prednost pred vodonikom za punjenje transportnih i meteoroloških istraživačkih balona.

U atmosferi ozona ima u neznatnoj količini, manje od $4x10^{-5}\%$ u jedinici zapremine, ali je vrlo važan meteorološki i biološki činilac. U prvom redu u većoj meri apsorpcijom slabi sunčevo zračenje. Još krajem 19 veka opisano je kako su spektri Sunca i zvezda na kraju ultraljubičastog zračenja "isečeni" u delu talasne dužine oko 290 nm (Gartli, 1880.). Dvadesetih godina ovog veka Fabri i Büsson (1921.) utvrdjuju da apsorbciju u ovom delu spektra vrši sloj ozona u atmosferi, koji je na visini oko 20 i više kilometara.

Apsorbcija ultraljubičastog zračenja ozonom je vrlo velika. Skoro 1.5% sunčeve energije apsorbovano je u gornjem delu sloja ozona, na visini oko 50 km, pa je i vazduh u ovom delu znatno topliji, čak oko 45°C. Na sl.1.2. prikazana je raspodela temperature u atmosferi sa slojem ozona i bez ovoga. Iz slike se vidi da postoje znatne razlike temperature do 90°C, što ukazuje na ogromnu zaštitnu ulogu ozona, i ako ga ima u atmosferi u vrlo malim količinama.

Sadržina ozona u atmosferi ima i biološki značaj. Ukazuje na čistoću vazduha: što je više ozona, time je vazduh čistiji, mnoge vrste bakterija su uništene. Utičući na ultraljubičasto zračenje indirektno učestvuju u stvaranju vitamina D u organizmu. Od kolikog je značaja ozon u atmosferi, može se zaključiti prema oceni mnogih autora koji smatraju da ukoliko ne bi bilo ozona u atmosferi, bitno bi se izmenili biološki procesi na Zemlji, verovatno, da se ni život ne bi razvio u ovom obliku.

Na kraju, treba pomenuti još neke osobine suvog vazduha: $1m^3$ suvog vazduha, pri normalnim uslovima, t=0°C i p= 1013,2 mbara težak je 1.3 kg. Toplotni kapacitet suvog vazduha pri konstantnom pritisku četiri puta je manji od toplotnog kapaciteta vode. Toplotna provodljivost suvog vazduha 20 do 30 puta je manja od toplotne provodljivosti vode, a 1000 puta manja od toplotne provodljivosti metala. Medjutim, temperaturna provodljivost suvog vazduha mnogo je veća, nego temperaturna provodljivost podloge ili metala.



Sl.1.2. Slojevi atmosfere i pojave koje se zbivaju u visokoj atmosferi

U tablici 1.2. prikazane su osobine suvog vazduha.

Tablica 1.2

Osobine suvog vazduha:

1. Gustina: pri T=273° i p=1013.2 mbara iznosi 1.293 kg/m^3
   pri T=273° i p=7000 mbara, iznosi 1.276 kg/m^3
2. Zapremina: V_o=22.41 m^3/Kmol;
3. Molekularna težina: 28.96;
4. Toplotni kapacitet:
   pri konstantnom pritisku C_p=1005 J/(kg K);
   pri konstantnoj zapremini C_v=717 J/(kg K);
   Odnos C_p/C_v=1.404=1.4.
5. Koeficijent provodljivosti toplote:
   pri T=273°, iznosi:24.3 10^{-13} W/mk;
6. Koeficijent provodljivosti temperature:
   Iznosi: $0.17 \cdot 10^{-4} m^2/s$
7. Koeficijent termičkog širenja:
   Od 0-100°C iznosi: 0.00367=0.004 K^{-1};
8. Trenje: 1.72 x 10^{-2} kg/ms.

Molekularne osobine suvog vazduha, koje se navode u tablici 1.2. važe za suvi vazduh koji je nepokretan. Medjutim, u prirodi vazduh se neprekidno kreće, premešta, pa ima druge vrednosti trenja i koeficijente provodljivosti toplote i temperature. Njihove brojne vrednosti zavise od intenziteta premeštanja u atmosferi i mogu biti deset i više puta veće, odnosno stotinu hiljada puta veće nego molekularnog.

Od pridodataka suvoj atmosferi najvažnija je vodena para, ne samo što učestvuje u vremenskim promenama, nego što znatno slabi sunčevo zračenje, kao i zračenje Zemlje (izračivanje). Sadržina vodene pare u atmosferi menja se u širokim granicama. Uzrok velikoj promenljivosti su toplotni uslovi u atmosferi, pri kojima se voda javlja u sva tri agregatna stanja što nije slučaj sa ostalim gasovitim sastojcima atmosfere. Atmosferska vodena para, prema tome, stalno menja svoj oblik od gasovitog stanja do tečnog oblika vodenih kapi, ili od čvrstog stanja ledenih kristala ili snega.

Maksimalna količina vodene pare u atmosferi ograničena je pritiskom zasićenja (zasićenosti), koji zavisi od temperature vazduha. Kada se dostigne pritisak zasićenosti ili

maksimalni napon vodene pare, nastaje kondenzacija vodene pare. Veća ili manja količina vodene pare u vazduhu odredjuju vlažnu ili suvu klimu, a time je uslovljen i privredni razvoj stanovništva, biljni i životinjski svet. Apsorbujući toplotu koju izrači zemljina površina, a zatim, emitujući je u okolnu sredinu vodena para u atmosferi povećava temperaturu nižih slojeva atmosfere stvarajući topliju klimu. Kondezacijom vodene pare nastaju atmosferske pojave, kao što su magla, kiša, oblačnost i dr.

Gustina zasićene vodene pare u odnosu na vodu se menja na različitim temperaturama i to na sledeći način:

Temperatura (°C):	-40	-20	0	20	40
Gustina ($10^{-3} kg/m^3$):	0.176	1.073	4.84	17.27	51.05

Zapreminski udeo vodene pare je oko 0.4%. Neke osobine vodene pare u odnosu na suv vazduh iznose:

-specifična težina: 0.62221;

-gasna konstanta: 4,61x10^2,J/(kg K);

-specifična toplota:pri stalnom pritisku 1846 J(kg·K) a pri stalnoj zapremini 1239 J/(kg K).

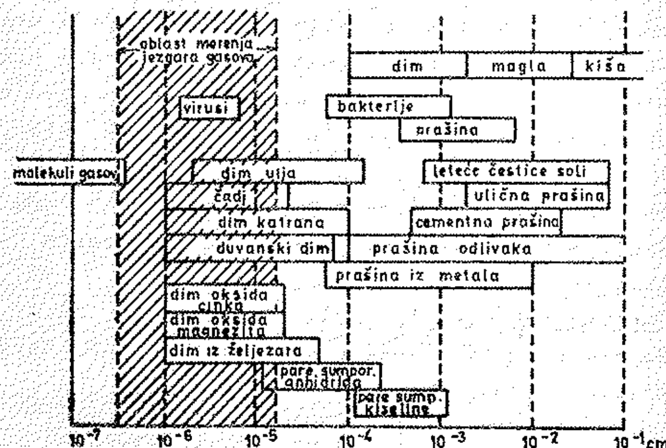
Najzad u vazduhu ima, kao što je već pomenuto, lebdećih čvrstih čestica i organskih sastojaka u vrlo promenljivim količinama. Sve suspendovane čvrste čestice zovu se uopštenim imenom p r a š i n a , ali medju njih ne spada samo prašina u pravom smislu reči, nego i gar, vulkanski pepeo, čestice soli, seme , prašak biljaka, klice itd.

Prašina u atmosferi slabi sunčevo zračenje, u nekim rudarskim i indistrijskim lokalitetima čak i do 30%, a slabljenje ultraljubičastog zračenja i do 40%.

Zbog apsorpcije sunčevog zračenja, prašina u prizemnom sloju povećava temperaturu vazduha a tim i efekat sušenja. Štetna je po zdravlje i utiče na optičke pojave u atmosferi: polarizaciju, difrakciju, rasipanje itd.

Tvrde čestice u atmosferi i uopšte aerosoli, imaju vrlo različito poreklo. Tako, na primer, kosmička prašina je nastala od meteora; čestice zemljine površine, koje raznosi vetar, iz slojeva ziratne zemlje; dim i pepeo iz rudarsko-energetskih kombinata, i usled šumskih požara. Njihove veličine kao i koncentracije su vrlo različite. Na sl.1.3. prikazane su

veličine aerosola u atmosferi prema Efenbergeru (A.H.Hrigijan, 1969).



Sl.1.3. Veličine aerosola

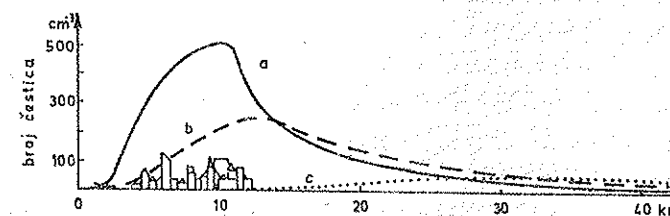
Obično su koncentracije aerosola vrlo male u odnosu na masu zemljine atmosfere, milion ili čak desetinu miliona puta manje. Medjutim, činjenica je da su one u stalnom porastu i sa gledišta aerozagadjenosti predstavljaju faktore vredne pažnje. Prema ispitivanjima raznih autora, pretpostavlja se da u toku godine u svetu sagori oko dve milijarde tona kamenog uglja, milijardu tona nafte; preradi se više od dve milijarde tona rudnih i nerudnih materijala, pri čemu ostane ogromna količina, oko 120 miliona tona pepela i dr. sagorelog materijala.

Vrlo velike koncentracije prašine, dima, čadji i dr. zagadjujućih pridodataka atmosfere nalazimo u velikim gradovima. U nekim vremenskim situacijama, kada je tiho, bez vetra opaža se nad gradom kalota "magličastog vazduha" do visine nekoliko stotina metara. Svakako, da kalota utiče na prozračnost atmosfere i radijacioni režim grada. U ovakvim karakterističnim situacijama u gradovima se stvaraju "ostrva toplote" u kojima su opažene temperature vazduha 2-3°C više nego u okolini, izvan grada. Ovo je poznati uticaj gradova na mikroklimu i biosferu sredine.

Prema ispitivanjima izvršenim u Londonu koncentracija

aerosola iznosila je, pre preduzimanja zaštitnih mera na aerozagadjnjenju, čak i do 20.000 čestica u cm³. U nekim velikim gradovima u Evropi koncentracija je iznosila oko $25 \cdot 10^{-5}$ kg/m³.

Na sl.1.4 prikazana je teorijska raspodela koncentracije aerosola na zavetrinskoj strani grada.



Sl.1.4 Raspodela koncentracija aerosola iznad grada na zavetrinskoj strani, na visinama: a) 80, b) 160 i c) 400 m

Količina aerosola smanjuje se sa visinom. Prema podacima Regera i Zidentopfa (A.H.Hrigijan,1969) u srednjoj Evropi srednja koncentracija aerosola u toku zime menja se sa visinom: od 98 na zemljinoj površini do 6.3 u cm³ na visini 1 km; u toku leta od 19.5 pri zemljinoj površini do 7.1 u cm³ na visini 1 km.

U pridodatke atmosfere, treba takodje ubrajati i štetne materija koje nastaju radom oko 200 miliona automobila i stotinu hiljada aviona.

Uzimajući u obzir sve što je dosada navedeno o štetnim pridodacima koje čovek neprekidno ubacuje u atmosferu,može se pretpostaviti u kakvom se položaju nalazi naša atmosfera, naročito onaj najniži, prizemni sloj; čini nam se kao da je atmosfera postala jedno gigantsko smetilište. Prema nekim proračunima zagadjenost vazduha nanosi štetu od oko 200 dolara po glavi stanovnika, pa je postala planetarni problem i mora se rešavati na medjunarodnom planu, u prvom redu od strane specijalizovanih organizacija Ujedinjenih nacija: Svetske meteorološke, Svetske zdravstvene i dr.

Prema svojim fizičkim osobinama, temperaturi i vlažnosti vazduha, električnim, optičkim, hemijskim i dr. pojavama, atmosferu delimo na više karakterističnih slojeva tzv."sfera".

T r o p o s f e r a , od grčkih reči: τρόπος -obrt i σφαῖρα -lopta), sloj atmosfere izmedju zemljine površine i gornje granice koja je nestalna, nije na istoj visini i zavisi od godišnjeg doba, vremenske (sinoptičke) situacije, geografske širine, reljefa i dr. Na polovima troposfera dostiže do visine oko 6-7 km; na umerenim širinama do 10-11 km, a na ekvatoru do 18km.

Zbog neprekidne razmene vazdušnih masa duž geografskih širina i u vertikalnom pravcu, kao i sadržine skoro celokupne vodene pare, u troposferi se dogadjaju sve glavne vremenske pojave ,nastaju oblaci, padavine kiša i grad, magla i mnoge druge atmosferske pojave.

U troposferi temperatura vazduha opada sa visinom.U nižem delu prosečno za 0.4 do 0.6°C, a u višem delu 0.7 do 0.8°C za svakih sto metara visine. Horizontalni gradijent temperature vazduha pri zemljinoj površini upravljen je, uglavnom, od ekvatora prema polu, a na visini oko 10 km i većoj u suprotnom pravcu.

Horizontalni gradijent vazdušnog pritiska u višim slojevima troposfere upravljen je od ekvatora prema polu.

Preovladjujući vetrovi u troposferi su: zapadni na umerenim širinama,i istočni na ekvatoru. Brzina vetra raste sa visinom prosečno 2 m/s za svakih hiljadu metara. U višim slojevima troposfere opažena je jedna karakteristična pojava: sloj vazduha vrlo velike brzine, čak i do 500 km/čas. U vazduhoplovstvu se ovakva oblast naziva "džetstrim" (mlazna struja).

Za tehničku meteorologiju veoma je važan najniži sloj troposfere, neposredno pri zemljinoj površini, debljine nekoliko stotina metara, pa i do kilometar-dva. Naziva se g r a n i č n i s l o j . U njegovom donjem, najnižem delu, neposredno uz zemljinu površinu vrši se neprekidna razmena toplotne i kinetičke energije i materija, u prvom redu, vode i štetnih pridodataka. U ovom sloju, vazdušne čestice stalno menjaju pravac i brzinu, a čitav granični sloj više-manje nalazi se u turbulentnom kretanju. Zbog turbulencije vrši se prenos vodene pare i kinetičke energije. Vrlo često granični sloj dostiže visinu 800 do 1200 m i završava se inverzijom temperature, tj. slojem u kojem se temperatura povećava sa visinom. Jako uzlazno strujanje, tzv. konvekcija vazduha, mestimično i privremeno

razbija ovaj sloj. Meteorološki procesi u ovom sloju atmosfere kao "okolna sredina" neposredno utiču na tehničke procese.

Prelazni sloj izmedju graničnog sloja i troposfere naziva se p e p l o p a u z a (od latinske reči: peplum-plašst,ogrtač i grčke παῦσις -prestajanje), a prelazni sloj ili granična površina izmedju troposfere i sledećeg sloja u atmosferi,naziva se t r o p o p a u z a (od grčkih reči: τρόπος -obrt i παῦσις prestajanje). Na ovom poslednjem sloju debljine kilometar dva, nastaju nagle promene u vertikalnoj raspodeli temperature;često se javi izotermija u gornjem delu. Sve što je rečeno o promeni gornje granice troposfere odnosi se na tropopauzu.

S t r a t o s f e r a , (od latinske reči: stratum-pokrivenost i grčke σφαῖρα -lopta) je sloj atmosfere koji se pruža od tropopauze pa do visine oko 50 km. Karakteristična osobina ovog sloja je jako horizontalno strujanje vazdušnih masa, planetarsnih razmera, čime se vrši transport vazduha duž meridijana izmedju hemisfera. Stratosfera se deli na niži, hladniji sloj do visine oko 30 do 5 km u kome je temperaturni gradijent od -0.1 do +0.1°C/100 m. Zbog toga, ovaj skoro izotermni sloj nazivaju izosferom. Od ovog sloja temperatura raste sa visinom sve do nivoa od oko 50 km, na koje dostiže temperaturu od oko 0°C. Prelazni deo stratosfere od izosfere prema stratosferskoj inverziji nazivamo izopauzom.

Preovladjujući vetar u izotermnom sloju je zapadni, a u višim slojevima - istočni. Prelaz je na visini oko 18 do 25km.

Iznad nižih širina i ekvatora stratosfera počinje inverzijom, dakle nema advektivnog sloja.

Povećanje temperature u stratosferi se objašnjava apsorpcijom ozona u spektru ultraljubičastog zračenja od 0.22 do 0.24 μm. Maksimalna koncentracija ozona je na visini oko 25 do 28 km.

Količina vodene pare je vrlo mala, ali dovoljna da se na visini 23 do 24 km, na kojoj nastaje i rast napona zasićene vodene pare, obrazuju tanki sedefasti ili biserni oblaci.

M e z o s f e r a (od grčkih reči: μέσος -naizmenični i σφαῖρα -lopta) je sledeći sloj atmosfere koji se prostire od stratopauze, prelaznog sloja izmedju stratosfere i mezosfere,pa do visine oko 80 km iznad zemljine površine. U mezosferi temperatura naglo opada sa visinom, tako da na gornjoj granici iz-

nosi oko 80 km iznad zemljine površine. U mezosferi temperatura naglo opada sa visinom, tako da na gornjoj granici iznosi oko -80 do -90°C. Zbog toga, u ovom sloju nastaju vertikalna konvektivna kretanja, slično opaženim u troposferi. U mezosferi neprekidno duvaju zapadni vetrovi, ali u višim slojevima i istočno. Vazduh je dosta izmešan i s toga je i njegov sastav isti kao i u prethodnim slojevima atmosfere. Ovde su uglavnom prisutni hemijsko-aktivni atomi i molekuli, koji se nalaze u pobudjenom stanju,pod uticajem kraktotalasnog sunčevog zračenja.

Na gornjoj granici mezosfera se završava inverzijom koju nazivamo: m e z o p a u z a. U višim delovima mezosfere i u mezopauzi, na visini od oko 80 km, opažaju se "svetleči noćni" ili srebrnasti oblaci, koji se verovatno sastoje iz ledenih čestica (iglica).

Iznad mezopauze nalazi se sloj atmosfere-t e r m o s f e r a (od grčkih reči:θέρμος-topao i σφαῖρα-lopta) koji se prostire od 80 pa do 1000 km. U ovom sloju temperatura se povećava sa visinom, tako da na visini oko 600 km iznosi preko 2000°K. Medjutim, zbog vrlo male gustine vazduha na ovim visinama visoke temperature ne predstavljaju neku vrućinu. Stepen povećanja temperature vazduha u troposferi zavisi od intenziteta apsorpcije sunčevog zračenja.

Pod uticajem ultraljubičastog, rentgenskog i korpuskularnog zračenja Sunca u termosferi se vrše hemijski procesi disocijacije i rekombinacije čestica vazduha. Ove naelektrisane čestice obrazuju jonizovane slojeve D,E i F, zbog kojih često termosferu nazivaju jonosfera. Jonizovani slojevi imaju praktični značaj u radiodifuziji, jer se preko ovih slojeva rasprostiru radiotalasi. Zbog toga se posebna pažnja posvećuje proučavanju uticaja atmosfere na rasprotiranje radio-talasa i jonosferske prognoze.

Iznad 400-500 km atmosfera se sastoji iz monoatomnog kiseonika i monoatonog azota, neutralnog helijuma, tako da se sastav vazduha menja u odnosu na niže slojeve, uglavnom zbog pomenutih procesa i difuzije gasova. U nižem delu termosfere toplotna razmena se vrši konvekcijom, a u višim procesima toplotne provodljivosti. U ovim višim slojevima termosfere,zbog

relativno malog broja molekula ne može se odrediti temperatura vazduha u tzv. "termometarskom smislu", tj. kao mera srednje statističke raspodele neuredjenog kretanja molekula.

Povećanje temperature vazduha sa visinom je do nekoliko stotina kilometara, a zatim temperatura postaje konstantna. Ova izotermna oblast nazvana je e g z o s f e r a (od grčke reči:ἔξω -spoljašnji i σφαῖρα -lopta), dok je prelazni sloj od termosfere prema ovom sloju nazvan termopauza. Razredjenost gasova u egzosferi je ogromna, a verovatnoća sudara molekula vrlo mala. Zbog velike brzine molekuli savladjuju zemljinu gravitaciju i odlaze u medjuplanetarni prostor. Ova pretpostavka danas se sve manje prihvata, pa i sam izraz egzosfere za ovaj sloj sve se manje primenjuje. Smatra se da sve do nivoa na kome atmosfera prelazi u medjuplanetarni prostor pripada termosferi.

Postoji podela atmosfere prema izmeni u sastavu gasova vazduha sa visinom, i to na dva sloja: h o m o s f e r u (od latinske reči: homo-isti) i na h e t e r o s f e r u (od latinske reči: hetero-različit).

Homosfera je sloj atmosfere od zemljine površine pa do visine na kojoj se nalazi mezopauza. U ovom sloju vazdušne čestice neprekidno se kreću u vertikalnom i horizontalnom pravcu, mešaju se, a odnos gasova ostaje neizmenjen. Količina molekularnog azota uvek je skoro četiri puta veća nego molekularnog kiseonika.

Medjutim, u heterosferi sastav vazduha se menja sa visinom. Neprekidni procesi disocijacije i rekombinacije, kao i difuziona podela gasova utiču da preovladjuju drugi gasovi, vodonik i atomi kiseonika i azota. Gasovi su na velikim visinama u tzv. stanju plazme, sačinjavaju ih elektroni i naelektrisani atomi i molekuli.

Iznad 1000 km naelektrisani delići plazme postaju sve više pod uticajem zemljinog magnetskog polja i njihovo kretanje je upravljeno u pravcu magnetnih silnica. Zbog toga je i ovaj sloj atmosfere dobio naziv m a g n o s f e r a. Ovde postoje Van Allen-ovi pojasevi zračenja, tj. zone jakog nagomilavanja naelektrisanih delića.

Na sl.1.2 prikazani su slojevi atmosfere i pojave koje se zbivaju u visokoj atmosferi.

1.2. Meteorološki elementi i pojave značajni za tehničku meteorologiju

Da bi se odredile kvantitativne osobine atmosfere u nekom momentu, času ili danu, uvode se niz veličina pod nazivom m e t e o r o l o š k i e l e m e n t i ili ponekad hidrodinamički elementi ili parametri stanja atmosfere. A to su: temperatura i vlažnost vazduha; vazdušni pritisak i vetar; oblačnost i intenzitet padavina i dr.

U meteorologiji se takodje koristi izraz a t m o s f e s k e p o j a v e pod kojima se podrazumevaju odredjeni fizički procesi praćeni naglim promenama stanja atmosfere. Atmosferske pojave su: magla, sumaglica, grmljavinske nepogode, poledica, rosa, slana, zaledjivanje, padavine, oblaci (u celini) i dr.

1.2.1 Tempertura i vlažnost vazduha

Temperaturom vazduha izražavamo njegovo toplotno stanje, a kada govorimo o promenama temperature vazduha podrazumevamo promene u toplotnom stanju.

Pri odredjivanju temperature vazduha najčešće se koristi Celzijusova (Celsius) skala, na kojoj je 0°C odredjena kada pod normalnim pritiskom čista voda smrzava, a 100°C, kada takodje pod normalnim pritiskom čista voda ključa. Koristi se i apsolutna skala na kojoj 0° apsolutne skale označava najmanju moguću temperaturu (-273.15°C), jedan stepen jednak kao i kod Celzijusove skale. Stepeni apsolutne skale označavaju se sa °aps ili °K (Kelwin). Temperatura izražena u Celzijusovoj skali označava se sa t, u apsolutnoj T, a odnos je T=273+t.

Često se upotrebljavala naročito u zemljama u kojima se govori engleski, Farenhajtova (Fahrenheit) skala, na kojoj 0°C odgovara 32°F (Farenhajta). Odnos izmedju skala iznosi:

$$C/100 = \frac{F - 32}{180} \qquad (1.1)$$

Glavni instrument za merenje temperature vazduha u meteorološkim stanicama je psihrometar (ψυχρός-prohladan, μέτρον -mera). To su dva istovetna termometra, istog sastava i podele na stepene (°C), samo je na jednom rezervoar obložen mokrim muslinom, zbog toga se prvi zove "suvi termometar" kojim se, meri temperatura vazduha (t), a drugi "vlažni termometar" kojim se posredno odredjuje vlažnost vazduha(t').Vlažni se termometar većinom provetrava pomoću aspiratora ili ventilatora.

Da bi se izmerile ekstremne temperature, tj. najviša i najniža nastala temperatura u toku jednog dana, upotrebljavaju se maksimalni ili minimalni termometar.

Autoregistrujući instrumenti, termografi, beleže neprekidno promene temperature vazduha.

Da bi se izmerila temperatura vazduha pri svim meteorološkim uslovima, pri kiši, vetru ili vedrom danu kada sija Sunce, instrumenti za merenje temperature vazduha postavljaju se u tzv. "termometarski zaklon" - drvenu kućicu, na visini od 2 m iznad zemljine površine.

Izvor toplote i hladnoće za vazduh je zemljina površina. Toplota sunčevog zračenja samo preko zemljine površine, neposredno utiče na povećanje temperature vazduha.

Sa zemljinom površinom atmosfera stalno razmenjuje toplotu. Zbog toga se u prizemnom sloju atmosfere temperatura vazduha menja sa visinom vrlo različito. Iznad vodenih površina ove promene su sporije, nego iznad kopnenih.

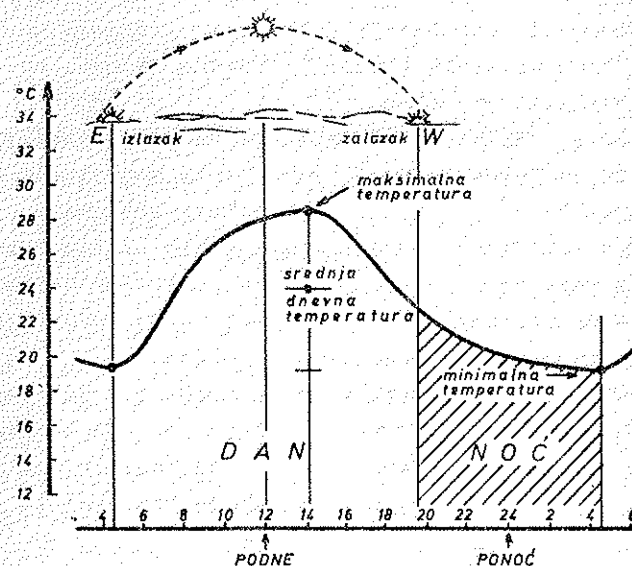
Obično temperatura vazduha opada sa visinom, ali na različitim mestima, dobu dana i godine, postoje temperaturne inverzije, slojevi atmosfere u kojima se temperatura povećava sa visinom, kao i izotermije u kojima je temperatura svuda jednaka.

Izmerena najviša temperatura vazduha u prizemnom sloju iznosi 57.8°C, a zabeležena je 11.avgusta 1933. u mestu San Lui na meksikanskoj visoravni. Vrlo visoke temperature vazduha, oko 55°C zabeležene su u južnim krajevima Tunisa, u Kalifornijskoj pustinji i u severozapadnoj Indiji. Najniža temperatura vazduha u prizemnom sloju izmerena je na sovjetskoj meteorološkoj stanici "Vostok" na Antarktiku. Ovde je u avgustu 1960.zabeležena temperatura -88.3°C.

Na glavnim meteorološkim stanicama temperatura vazduha pored toga što se neprekidno registruje, meri se svakog časa, a na osnovu ovih podataka dobija se srednja dnevna temperatura, ako se zbir zabeleženih časovnih temperatura podeli sa 24.

Srednja dnevna temperatura je osnova za odredjivanje srednjih mesečnih i srednjih godišnjih temperatura. Srednja mesečna temperatura vazduha dobija se sabiranjem svih srednjih dnevnih i podelom zbira sa brojem dana u tom mesecu, a srednja godišnja, ako se saberu sve srednje mesečne i zbir podeli sa 12.

Temperatura vazduha u toku dana menja se postepno. Sa povećanjem sunčevog zračenja raste sve do njegove kulminacije, a zatim opada. Dostiže svoj minimum pred izlazak Sunca. Na sl. 1.5 prikazana je ova teorijska raspodela temperature



Sl.1.5. Dnevna promena temperature vazduha u toku letnjeg dana pri stabilnom vremenu

vazduha. Uopšte se može reći da dnevni tokovi temperature vazduha zavise od godišnjeg doba, geografske širine i fizičko-geografskih uslova mesta.

Godišnji tok temperature vazduha u prizemnom sloju

je pod uticajem geografske širine. Medjutim, zbog velike širine umerenog pojasa izdvajaju se sporedni pojasevi, i u svakom od njih, izdvajaju se uticaji kopna i mora, a zatim brojni fizičko-geografski faktori.

Pored pomenutih periodskih promena temperature vazduha u prizemnom sloju postaje i neperiodski, kada se javlju nepravilnosti u toku dnevne promene temperature istog dana uzastopnih godina. Isto tako, srednje mesečne temperature uzastopnih meseci retko kada imaju normalan oblik godišnjeg toka temperature, izvedenog na osnovu višegodišnjih osmatranja. Ove pokazuju znatne razlike od jedne do druge godine.

Za potrebe proučavanja zagadjenosti vazduha, naročito u lokalitetima budućih elektrana, toplana i drugih jakih izvora zagadjenosti vazduha, vrlo je važno utvrditi promene temperature vazduha sa visinom, dnevni i godišnji period opadanja i porasta (inverzije) temperature vazduha sa visinom.

V l a ž n o s t   v a z d u h a. Vlažni vazduh koji ne sadrži prašinu i industrijske i druge pridodatke, homogena je smeša gasova: suvog vazduha i vodene pare. Pri normalnom atmosferskom pritisku (1013,2 mbara) vodena para nije idealan gas. Medjutim, u smeši sa suvim vazduhom deo mola ili mase vodene pare je manji od jedinice, pa se zato vlažni vazduh može posmatrati kao smeša idealnih gasova. Za ovakvu smešu, uzimajući u obzir jednakosti i razlike u molekulama, jednačina stanja ima oblik:

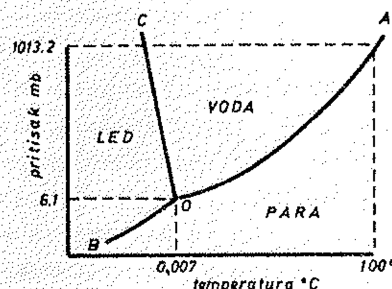
$$pV = RT - p\,(A_{aa}N_a^2 + 2A_{av}\,N_aN_v + A_{vv}N_v^2), \quad (1.2)$$

gde su: p-pritisak smeše; V-zapremina jednog mola smeše, R-univerzaalna gasna konstanta; A_{aa}, A_{av}, A_{vv} - koeficijenti koji zavise od temperature; N_a-mol suvog vazduha; N_v-mol vodene pare u smeši vlažnog vazduha (molska frakcija). Treba primetiti, da se pri ispitivanju promenljivih veličina vodene pare koriste težinski (maseni) ili molski delovi suvog vazduha i vodene pare (pod molom podrazumevamo količinu materije koja ima onoliko molekula, koliko ima atoma u 0.012 kg ugljenika (^{12}C).

Pri atmosferskom pritisku suvi vazduh možemo smatrati idealnim gasom samo do vrednosti N_a=1 (N_v = 0), a vodenu paru samo pri $N_v \ll 1$.

Uslovi ravnotežnog stanja izmedju vodene pare, vode i leda jesu: jednake temperature, dakle, nema razmene toplote izmedju agregatnih stanja; jednak pritisak, što znači da mora postojati "mehanička" ravnoteža, i mora biti zadovoljena jednakost hemijskog potencijala. Ukoliko nema ravnotežnog stanja, nastaju fazne promene, pretvaranje u agregatna stanja vode.

Pretvaranje vodene pare u vodu ili kristale, kao i vode u kristale veoma je značajno za procese u atmosferi. Pretvaranje vode u kristale nastaje na znatno nižoj temperaturi nego pretvaranje vode u vodenu paru. Sva tri pretvaranja (faze) mogu se naći u ravnoteži i to je tzv. trojna tačka. Na sl.1.6 je prikazan dijagram pretvaranja vodene pare u blizini trojne tačke. Na temperaturi nižoj od trojne tačke vodena para može preći u led ne prolazeći kroz fazu vode.

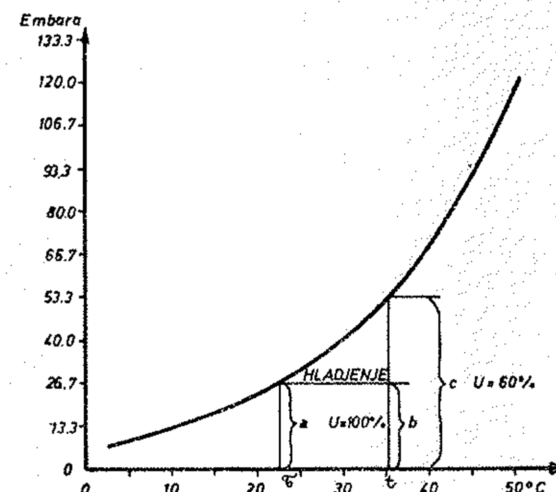


Sl.1.6 Krive ravnotežnog stanja: A-izmedju vode i vodene pare; B-izmedju vodene pare i leda, i C-izmedju vode i leda

U svakoj tački krive ravnotežnog stanja postoje odredjeni odnosi u kojima osnovnu ulogu igraju latentna toplotna isparavanja, kondenzacija ili sublimacija, toplota topljenja leda i dr. termodinamički činioci.

Vlažnost vazduha odredjena je brojnim veličinama. Radi upoznavanja neke od ovih, potrebno je uzeti u obzir da se u vlažnom vazduhu na odredjenoj temperaturi može nalaziti odredjena maksimalna količina vodene pare, koja je utoliko veća ukoliko je viša temperatura. Na sl.1.7. prikazan je odnos izmedju maksimalnog pritiska vodene pare i temperature vazduha.

Iz slike je lako videti, ako na primer, pri temperaturi t i relativnoj vlažnosti 50% nastane hladjenje vazduha do tačke rose, pritisak vodene pare postaje maksimalni.



Sl.1.7. Odnos izmedju maksimalnog pritiska vodene pare iznad vode (E) i temperature vazduha (t) a-pritisak vodene pare jednak maksimalnom; b-pritisak vodene pare i c-maksimalni pritisak vodene pare

Maksimalni pritisak vodene pare iznad vode i leda u zavisnosti od temperature vazduha odredjujemo pomoću "pshirometarskih tablica".

Svetska meteorološka organizacija preporučila je sledeće karakteristike vlažnog vazduha.

<u>Odnos smeše</u> (r, u kg/kg) je odnos izmedju mase vodene pare (m_v) i mase suvog vazduha (m_a) u zapremini vlažnog vazduha:

$$r = \frac{m_v}{m_a} = 0{,}622 \frac{e}{p-e} \quad kg/kg \qquad (1.3)$$

p-atmosferski pritisak, i e -napon vodene pare.

<u>Specifična vlažnost</u> (q, u kg/kg) je odnos izmedju mase vodene pare (m_v) i mase vlažnog vazduha ($m_v + m_a$) u istoj zapremini

$$q = \frac{m_v}{m_v + m_a} = 0.622 \frac{e}{p - 0.378\,e}, \quad kg/kg \qquad (1.4)$$

Mol vodene pare u vlažnom vazduhu (N_v), molska frakcija je odnos broja mola vodene pare ($n_v=m_v/M_v$) prema broju mola vlažnog vazduha (N_v)=N_a; gde je N_a-broj mola suvog vazduha $N_a=\frac{m_a}{M_a}$):

$$N_v = \frac{n_v}{n_a + n_v} \qquad (1.5)$$

Mol vodene pare je bezdimenzionalna veličina.

Odnos smeše (r), specifična vlažnost (q) i mol vodene pare (N_v) odredjuju sastav smeše ili odnose vlažnosti vazduha, i svaka od ovih veličina se može izraziti ostalim, na sledeći način:

$$N_v = \frac{q}{0.622 + 0.378q} = \frac{r}{0.622 + r} \qquad (1.6)$$

$$q = \frac{r}{1 + r} = \frac{0.622N_v}{1 - N_v} \qquad (1.7)$$

$$r = \frac{q}{1 - q} = \frac{0.622N_v}{1 - N_v} \qquad (1.8)$$

Pritisak vodene pare (e, u milibarima ili drugim jedinicama za pritisak) vlažnog vazduha pri atmosferskom pritisku p i odnosu smeše r odredjen je jednačinom:

$$e' = N_v P = \frac{r}{0.622 + r} P \qquad (1.9)$$

Pritisak vodene pare izražen na ovakav način ($N_v p$) unekoliko se rezlikuje od parcijalnog pritiska, odnosno pritiska koji bi imali vodena pra ako bi zauzimala celokupnu zapreminu smeše; na istoj temperaturi, izražava se istim odnosom:

$$e = \frac{q}{0.622 + 0.378q} P = \frac{r}{0.622 + r} P \qquad (1.10)$$

Medjutim, prednosti odredjivanja $e=N_v P$ su u tome, što i jednačine koje sadrže napon zasićene vodene pare zadržavaju isti oblik, kao i u slučaju idealnih gasova.

U atmosferi se parcijalni pritisak vodene pare menja u dijapazonu od 0 do 55 mbara živinog stuba. Na jednom istom mestu dnevna i godišnja amplituda pritiska vodene pare kolebaju se u relativno malom dijapazonu od 5 do 27 mbara, znatno manje od mnogih meteoroloških elemenata.

Koncentracija ili gustina vodene pare ili apsolutna vlažnost (d_v ili a, u kg/m³) je odnos mase vodene pare (m_v) i zapremine smeše u kojoj se nalazi vodena para (V), a odredjuje se jednačinom:

$$d_v \text{ ili } a = \frac{m_v}{V}, \; kg/m^3 \qquad (1.11)$$

Svakoj temperaturi odgovara maksimalna apsolutna vlažnost (d_{max} ili a_{max}).

Relativna vlažnost vazduha: Treba razlikovati relativnu vlažnost vazduha u odnosu na vodu (f_w ili U_w) i na led (f_i ili U_i).

Relativna vlažnost vazduha u odnosu na vodu izražena u procentima je odnos mola vodene pare (N_v) i mola vazduha zasićenog vodenom parom u odnosu na vodu (N_{vw}), pri jednakom pritisku (p) i temperaturi (t).

$$f_w = 100\left(\frac{N_v}{N_{vw}}\right)_{p,t} = 100\left(\frac{pN_v}{pN_{vw}}\right) = 100\left(\frac{e'}{E'_w}\right)_{p,t} \qquad (1.12)$$

Indeksi p i t pokazuju da se brojitelj i imenitelj ovih izraza moraju uzeti pri jednakoj temperaturi i pritisku. Poslednji izraz (e'/E_w) sličan je klasičnom, koji se zasniva na Daltonovom zakonu o parcijalnom pritisku.

Relativna vlažnost vazduha u odnosu na led, izražena u procentima je odnos mola vodene pare (N_v) i mola koji bi imao vlažni vazduha (N_{vi}) ako bi bio zasićen vodenom parom u odnosu na led, pri istom pritisku (p) i temperaturi (t):

$$f_i = 100\left(\frac{N_v}{N_{vi}}\right)_{pt} = 100\left(\frac{pN_v}{pN_{vi}}\right) = 100\left(\frac{e'}{E'_i}\right)_{pt} \qquad (1.13)$$

Relativne vlažnosti vazduha f_w i f_i ne možemo odrediti ukoliko je pritisak vlažnog vazduha (p) manji od pritiska zasićene vodene pare u odnosu na vodu ili led, pri jednakoj temperaturi t.

Svetska meteorološka organizacija preporučila je da se za praktične potrebe relativna vlažnost vazduha na temperaturi ispod 0°C odredjuje u odnosu na vodu.

Za praktične, svakodnevne potrebe, relativnu vlažnost izražavamo srazmerom izmedju parnog pritiska, tj. postojeće sadržine vodene pare u vazduhu (e) i maksimalnog parnog pritiska, tj. maksimalne vodene pare koju bi vazduh mogao primiti pri istoj temperaturi (E). "Srazmerna zasićenost" vodene pare (U) u posmatranoj vazdušnoj masi izražena je formulom:

$$U = e/E$$

i, ako se ova srazmera zasićenosti izrazi u procentima, biće:

$$U = 100 \frac{e}{E}, \tag{1.14}$$

jednačina koja definiše relativnu vlažnost. Ona zavisi od temperature vazduha, kao i od sadržine vodene pare u njemu.

Vazduh je potpuno suv kada je U=0%, bez ikakve sadržine vodene pare, a zasićen vodenom parom kada je relativna vlažnost 100%. Pri istoj relativnoj vlažnosti, a različitim temperaturama vazduha, različita su i osećanja i dejstva vlažnog vazduha. Na primer, pri temperaturi od 20° i 30°, a relativnoj vlažnosti 80%, vazduh je nepodnošljiv, dok pri temperaturi od 5° ili 10° ne izaziva nikakvo naročito stanje.

Tačka rose (t_d ili τ°C), je remperatura na kojoj bi došlo do kondeznacije pri nepromenjenom pritisku vodene pare. Kada je vazduh zasićen vodenom parom, tačka rose je jednaka postojećoj temperaturi vazduha (t); kada je nezasićen, tačka rose je manja od (t). Ako se, pri dostignutoj tački rose vazduh i dalje hladi izdvaja se voda ili kristali. Na sl.1.7., pri tački rose (τ) i relativnoj vlažnosti (U=100%) vodena para je zasićujuća; ukoliko se dalje hladi izdvaja se voda ili led.

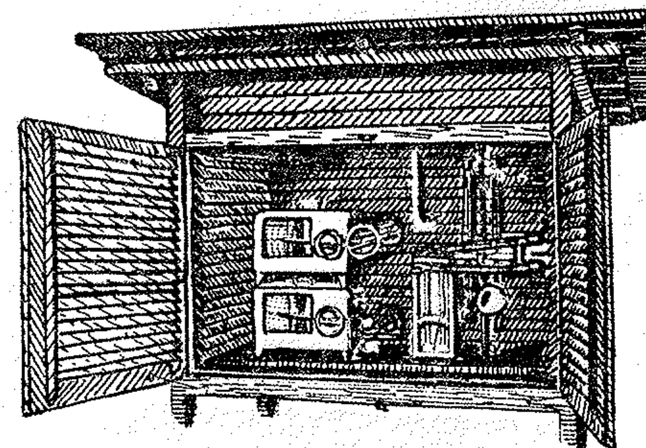
Temperatura mokrog termometra. Prethodno je već rečeno da psihrometar čine dva termometra od kojih je jedan "vlažan" pokriven muslinom koji se okvasi pre svakog osmatranja. Sve dok je vazduh nezasićen, voda sa muslina isparava, a isparavanjem se oduzima toplota, i temperatura vlažnog termometra je niža od temperature suvog termometra. Ova vrednost se zove "vlažna temperatura", za razliku od "suve temperature", koja je temperatura vazduha (t), sl. 1.8.

Oduzeta toplota sa vlažnog termometarskog suda proporcionalna je količini isparene vode, a ova je, opet, proporcionalna razlici izmedju maksimalnog parnog pritiska na površini isparavajuće vode (E), dakle pritisku zasićenosti pri temperaturi vlažnog termometra (t'), i postojećeg parnog pritiska u vazduhu (e); osim toga je proporcionalna i vlažnom pritisku (p).

Sud vlažnog termometra prima stalno toplotu od okolnog toplijeg vazduha, tim više što je veća razlika (t-t'),koja se zove psihrometarska diferencija, izražava se jednačinom:

$$C \frac{E'-e}{P} - C_1(t-t') \tag{1.15}$$

C i C_1 su konstante.



Sl.1.8. Meteorološki instrumenti u zaklonu

Pshirometarska diferencija služi za odredjivanje apsolutne vlažnosti, relativne vlažnosti, kao i tačke rose. Psihrometarska diferencija je izrazit kombinovani klimatski element, a ima ulogu i klimatskog faktora.

Razlike u temperaturi suvog i vlažnog termometra, pshirometarska diferencija i sve potrebne vrednosti su proračunate i unesene u posebne tzv. "pshirometarske tablice" koje služe za svakodnevno odredjivanje vlažnosti vazduha.

U tehničkoj meteorologiji za razna termoenergetska razmatranja uvodi se još jedan izraz za vlažnost vazduha: to je ekvivalentna temperatura. Ustvari, ona je kombinacija temperature vazduha i mere vlažnosti vazduha, a proporcionalna je ukupnoj toplotnoj energiji-entalpiji, koju sadrži odredjena zapremina vazduha.

Pri kondenzaciji vodene pare koja se nalazi u 1 m³ vlažnog vazduha, na konstantnom pritisku, oslobodi se oko 2500,6 J/kg za svaki 10^{-3}kg vodene pare, a pri tome se suv vazduh zagreje za odredjenu razliku od dotadašnje temperature (Δt).Kako je specifična toplota suvog vazduha na konstantnom

pritisku

C_p=1005 J/(kg K), a oslobodjena latentna toplota kondenzacije L=25oo.6 J/(kg K), tada je ekvivalentna temperatura (θ) za x 10^{-3} kilograma vodene pare (622 e/p) izražena jednačinom:

$$\theta = t + \Delta t = t + 2.5x = t + \frac{1.555}{P} e \qquad (1.16)$$

[pošto su: $L/C_P = 2.5$; $\Delta t = 2.5 \frac{622}{P} e = \frac{1.555}{P} e$]

e je parcijalni pritisak vodene pare; p-vazdušni pritisak, a 622 srazmera izmedju specifične težine vodene pare i suvog vazduha.

Oslobodjena latentna toplota pri sublimaciji vodene pare iznosi $L+\lambda$=2834,2 J/kg; λ je toplota smrzavanja. Ekvivalentna toplota sublimacije (θ) iznosi:

$$\theta' = t + \frac{1760}{P} e \qquad (1.17)$$

Pridodatak vlažnosti u ovom slučaju je za 13% veći.

Pri izračunavanju vrednosti ekvivalentne temperature najčešće se koristi uprošćena formula:

$$\theta = t + 2e \qquad (1.18)$$

Medjutim, za detaljnije vrednosti ekvivalentne temperature koristi se tzv. Lenkeova jednačina:

$$\theta = (t + U) K(t,p) \qquad (1.19)$$

$$K(t,p) = \frac{(1543 + 1.68\,t)E}{(P - 0.377E)P} \qquad (1.20)$$

Izmedju ekvivalentne temperature, temperature mokrog termometra i entalpije (S) postoji sledeći odnos:

$$S = 0.24\,\theta \qquad (1.21)$$

Kako je temperatura mokrog termometra (t'):

$$t' = t - \frac{1555}{P}(E - e) \qquad (1.22)$$

tada ekvivalentna temperatura, koristeći jed. (1.16), iznosi:

$$\theta = t' + \frac{1555}{P} E \qquad (1.23)$$

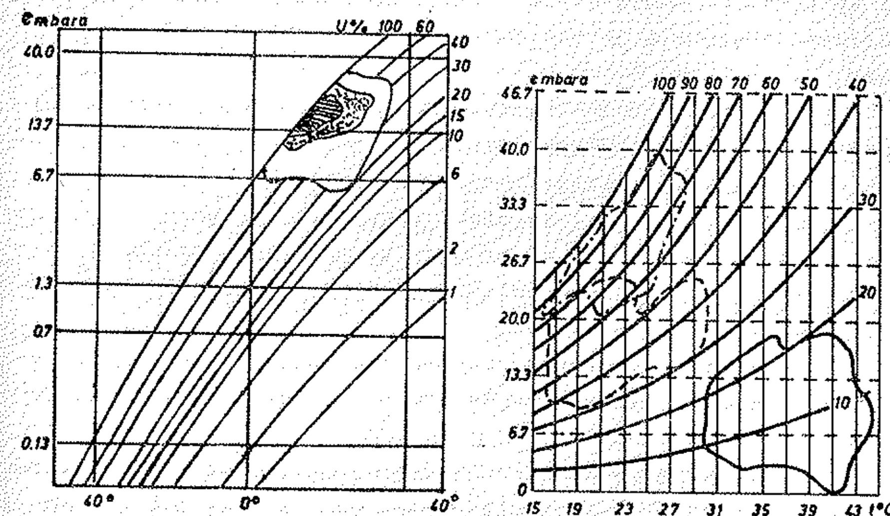
a entalpija:

$$S = 0.24\left(t' + \frac{1555}{P} E\right) \qquad (1.24)$$

U tehničkoj meteorologiji se koriste razni dijagrami za praćenje odnosa različitih karakteristika vlažnosti, temperature i entalpije. Tako imamo dijagram Moliera ili i - x

dijagram, na kome su na apscisi vrednosti apsolutne vlažnosti (u 10^{-3}kg/m³), a na ordinati količina toplote (u 4187 J/kg). Na dijagramu se nalaze i krive pomoću kojih se očitavaju vrednosti relativne vlažnosti vazduha.

U upotrebi je i dijagram Burhorda ili tzv. e-t-U dijagram na kome se na apscisi nalaze vrednosti temperature, a ordinati-napon vodene pare; krive odgovaraju vrednosti relativne vlažnosti vazduha. Na sl.1.9 prikazan je e-t-U dijagram.



Sl.1.9. Dijagrami Burhorda ili $e-t-u$ dijagrami

U poslednje vreme sve se više koriste "aerološki dijagrami", koji prikazuju kompleksne promene pritiska vodene pare, temperature i pritiska.

Najznačajnije promene vlažnosti vazduha, a u prvom redu osobine u raspodeli pritiska vodene pare i relativne vlažnosti na zemljinoj površini i vertikalne, sa visinom, su vrlo složene. Medjutim, mogu se izvući opšti zaključci.

Pritisak vodene pare u atmosferi naglo se smanjuje sa visinom. Na površini zemlje vrlo je različit, jer zavisi od brojnih faktora, kao što su vegetacija, raspodela vode i kopna, i drugih fizičko-geografskih uslova.

Složenija je raspodela relativne vlažnosti vazduha; u većoj meri zavisi od stanja podloge. Relativna vlažnost teži

da se menja obrnuto promenama temperature vazduha: najmanja je oko subtropskih širina, a najveća oko polutara i polarnih širina. Smanjuje se od primorja prema unutrašnjosti kopna.

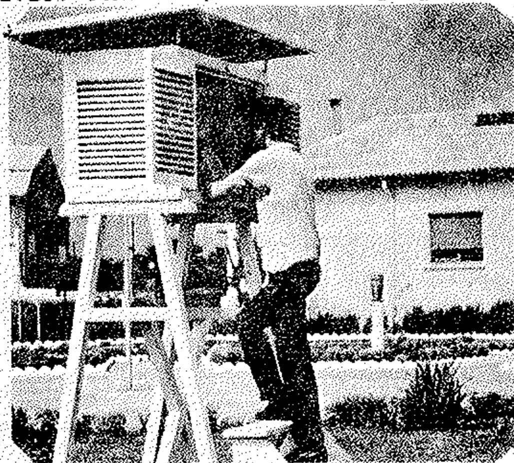
Dnevni tok napona vodene pare sleduje promenama temperature vazduha: povećava se posle ranog jutarnjeg minimuma sve do oko 9 časova, kada dostiže prvi maksimum; drugi maksimum je oko 16 časova.

Dnevni tok relativne vlažnosti je dosta složeniji, ali se uglavnom menja suprotno od temperature vazduha; maksimum relativne vlažnosti je oko jutarnjeg minimuma temperature vazduha.

Godišnji hodovi pritiska vodene pare i relativne vlažnosti su suprotni. Visoke vrednosti pritiska vodene pare javljaju se u periodu visoke temperature vazduha, ali se njihovi maksimumi ne pokalapaju. Maksimum napona vodene pare u toku godine zavisi u potpunosti od promene temperature vazduha u toku godine. Medjutim, minimum relativne vlažnosti vazduha odgovara maksimumu temperature vazduha.

Dnevne i godišnje promene pritiska vodene pare i relativne vlažnosti vazduha znatno su složenije za planinske krajeve.

Beleženje podataka o temperaturi i vlažnosti vazduha vrši se na glavnim meteorološkim stanicama svakog punog časa po GMT-u neprekidno od 00 - 24 časa. Na sl.1.8. prikazan je raspored meteoroloških instrumenata u meteorološkom zaklonu, a na **sl.1.10. osmatranje i beleženje podataka** na meteorološkoj stanici.



Sl.1.10. Osmatranje i beleženje temperature i vlažnosti vazduha na meteorološkoj stanici

1.2.2. Vazdušni pritisak i vetar

Vazdušni pritisak spada u red najznačajnijih veličina u meteorologiji, pa se njegovom merenju posvećuje posebna pažnja.

Za merenje se koriste živini barometi. Jedinica za pritisak se dobija iz poznatog odnosa:

$$p = \frac{F}{S}$$

p je pritisak, F-sila ravnomerno rasporedjena na površini S i vertikalno na ovu. Stavljajući za silu F=1 N (Njutn) i S=1m², dobijamo izvedenu jedinicu SI za pritisak:

$$1SI(P) = \frac{1N}{1m^2} = 1N\,m^{-2} = Pa\ (paskal)$$

Paskal je pritisak koji proizvodi sila od 1 njutna koja je ravnomerno rasporedjena i dejstvuje upravno na ravnu površini od 1 kvadratnog metra.

U meteorologiji se može upotrebljavati merna jedinica bar (bar), iako je van SI:

$$1\ \text{bar} = 10^5\ \text{Pa}$$

Za naučne i praktične potrebe u meteorologiji se najčešće upotrebljava decimalna merna jedinica bara-milibar (oznaka: mbar):

$$1\ \text{mbar} = 10^{-3}\ \text{bara} = 10^2\ \text{N/m}^2$$

Odnos izmedju milibara i milimetra živinog stuba koji se od 1981. ne upotrebljava je:

$$1\ \text{mbar} = 0.75\ \text{mmHg}$$

Jednostavniji izraz: 1 mbar $\sim$ 3/4 mmHg.

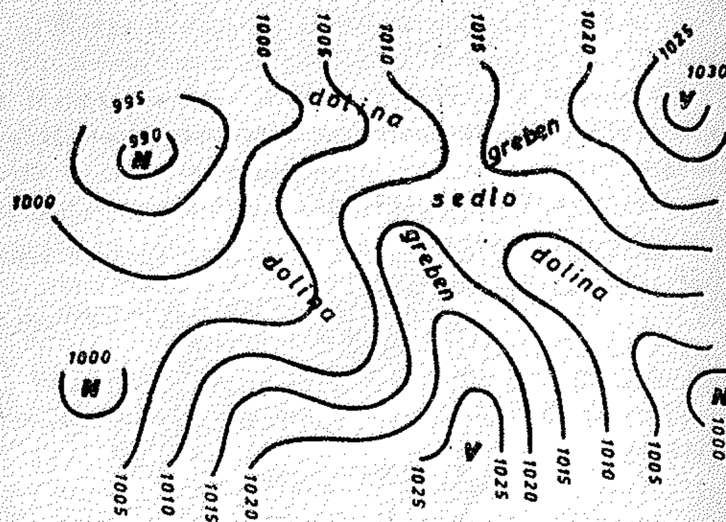
Mogu se upotrebljavati i vansistemske merne jedinice za pritisak:

-fizička atmosfera: atm $=1.013,25 \cdot 10^5$ N/cm² $=101.325$ N/m²
-tehnička atmosfera: at $=9.80665 \cdot 10^4$ N/m² $=98.066,5$ N/m²

Vazdušni pritisak (p) je brojno jednak težini vazduha iznad jedinice vodoravne površine. Pošto je vazduh smeša gasova težina je jednaka zbiru "parcijalnih pritisaka": $p=p_s + e$; ovde je p_s-parcijalni pritisak suvog vazduha, a e-parcijalni pritisak vodene pare.

U svakoj tački atmosfere postoji neki vazdušni pritisak; prema tome, u atmosferi postoji polje vazdušnog pritiska, koje se ne menja u skokovima, već kontinuirano. Sa visinom ono se smanjuje srazmerno promeni gustine vazduha. U gušćim prizemnim slojevima vrlo brzo opada, a zatim, sve sporije. Osim promene u vertikalnom pravcu vazdušni pritisak se menja i u horizontalnom pravcu, što je od posebnog značaja za praćenje promene fizičkog stanja atmosfere i vremena. Postoje pravci u kojima se vazdušni pritisak ne menja. Ovi pravci leže na nekoj površini koja se zove izobarska površina.

Za potrebe raznih istraživanja u tehničkoj meteorologiji, prognozi vremena, klimatologiji i dr. granama meteorologije polje pritiska se prikazuje pomoću izobara - linija koje povezuju mesta na vodoravnoj površini gde je vazdušni pritisak jednak, kao što je to prikazano na sl.1.11. Izobare su vrlo različite, ali se mogu grupisati u dva osnovna sistema. Ukoliko se u ovakvom sistemu, koji se sastoji od jedne ili



Sl.1.11. Izobare i polja izobarskih površina

više izobara, vazdušni pritisak smanjuje od periferije ka centru sistema ovakav sistem nazivamo ciklon ili depresija. Centar depresije sa najnižim vazdušnim pritiskom obeležavamo slovom N (nizak). Ako je zatvoren sistem izobara u kome se vazdušni pritisak povećava od periferije prema centru sistem nazivamo anticiklon. Centar anticiklona se beleži slovom V (visok).

Delovi pomenutih osnovnih sistema su dolina niskog pritisak i greben visokog pritiska.

Vazdušni pritisak se u toku vremena takodje neprestano menja. Promena koja se u srazmerno maloj jedinici vremena (dt) pojavi na odredjenom mestu u atmosferi zove se lokalna promena vazdušnog pritiska i označava se simbolom: $\partial p/\partial t$ -parcijalni pritisak po vremenu. Karte koje prikazuju ove promene pritiska nazivaju se izaobarske karte. Mogu obuhvatiti i veće oblasti, naprimer, Evropu ili veći deo hemisfere.

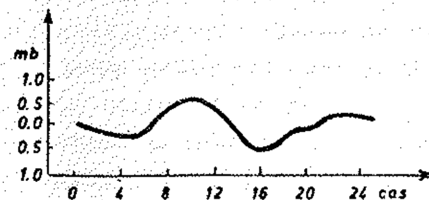
Isto tako, postoje promene pritiska na odredjenom putu u odredjenom pravcu, tzv. geometrijska promena pritiska u pravcu (s): $\partial p/\partial s$

Pritisak se najbrže menja u pravcu normalnom na izobarsku površinu i to je gradijent pritiska (g_p) koji je po intenzitetu jednak smanjenju pritiska u tom pravcu na jedinicu rastojanja:

$$g_p = -\frac{\partial p}{\partial n} \qquad (1.25)$$

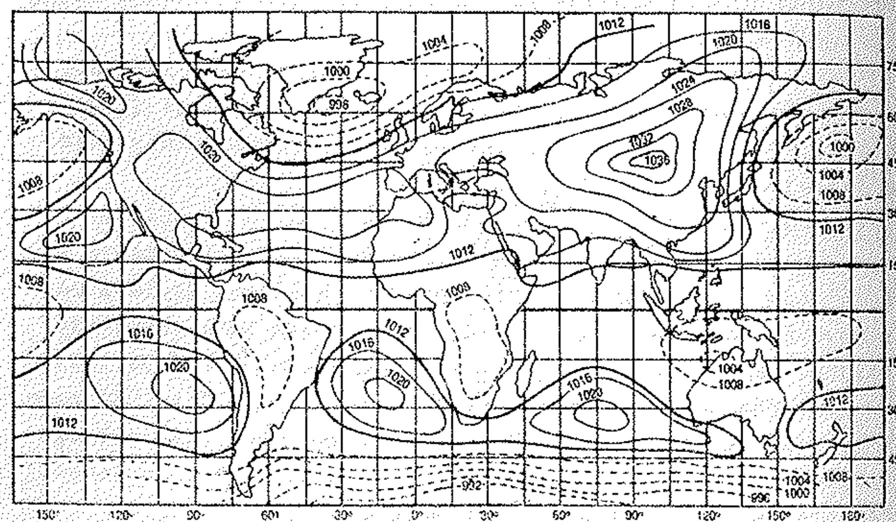
Posledice promene vazdušnog pritiska su kretanja vazdušnih masa u atmosferi velikih razmera. Dolaskom tople i manje gustine vazdušne mase neposredan je uzrok padu vazdušnog pritiska. Medjutim, ako se posmatra vertikalno kretanje vazdušnih mase nadole -tzv. descedencija, vazdušni pritisak na zemljinoj površini raste; pri dizanju vazdušne mase-pritisak opada. Osim ovih dinamičkih promena pritiska postoje i termičke, usled hladjenja i zagrevanja vazdušne mase.

Vazdušni pritisak, kao i ostali meteorološki elementi, ima dnevni i godišnji hod. Dnevni hod javlja se u obliku duplog talasa sa maksimumima oko 10 i 22 časa i minimumima oko 04 i 16 časova. Neperiodska dnevna kolebanja vazdušnog pritiska koja su karakteristična za više geografske širine, nastaju usled prodora vazdušnih masa, i praćena su naglim padom ili porastom vazdušnog pritiska. Medjutim, pri ostalim vremenskim stanjima naročito stabilnom javlja se dupli talas, kao na sl. 1.12. koja prikazuje dnevni hod vazdušnog pritiska u Beogradu. Kako godišnji hod vazdušnog pritiska zavisi od fizičko-geografskih uslova postoje više tipova godišnjih hodova vazdušnog pritiska.



Sl.1.12. Dnevni hod vazdušnog pritiska

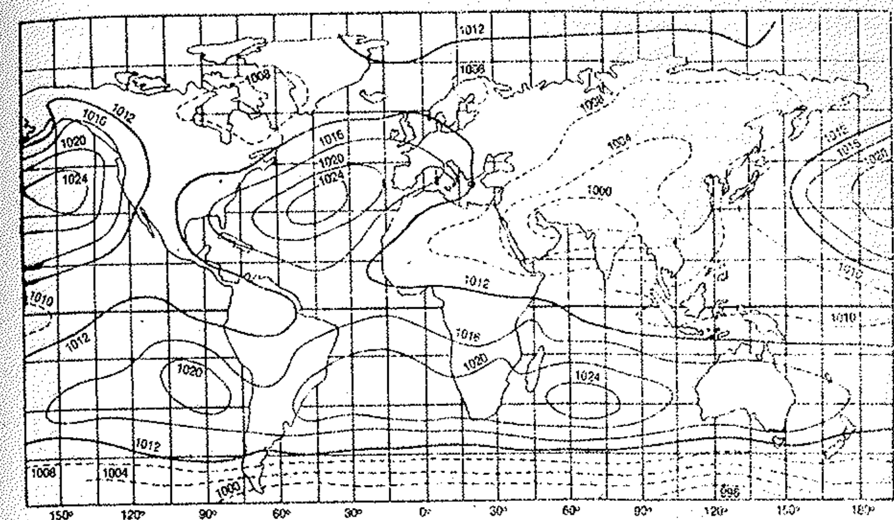
Najkarakterističniji su kontinentalni, maritmni i polarni. Kontinentalni tip se odlikuje zimskim maksimumom i letnjim minimumom, a maritimni ima potpuno suprotan godišnji hod od kontinentalnog: maksimum u letnjim, a minimum u zimskim mesecima. Na sl.1.13. i 1.14. su srednje mesečne raspodele vazdušnog pritiska na zemlji, u januaru i julu.



Sl.1.13. Raspodela vazdušnog pritiska u januaru, u mbarima na nivou mora

Godišnja amplituda vazdušnog pritiska kod kontinentalnog tipa iznosi oko 10 mbara. Medjutim, u kontinentalnim područjima Azije javljaju se znatno veće godišnje amplitude, čak i 30 mbara

V e t a r. Kretnje vazduha u odnosu na zemljinu površinu, a koje je nastalo zbog nejednakog atmosferskog pritiska nazivamo vetar. Pošto se pritisak menja u vertikalnom i horizontalnom pravcu kretanje vazduha u odnosu na zemljinu po-



Sl.1.14. Raspodela vazdušnog pritiska u julu, u mbarima na nivou mora

vršinu je pod izvesnim uglom. Ovaj ugao je vrlo mali, pa pod vetrom podrazumevamo samo horizontalno kretanje vazduha, odnosno njegovu horizontalnu komponentu. Vertikalna komponenta je obično manja od horizontalne, osim kada je u atmosferi jaka konvekcija ili kada je vazduh prinudjen, zbog orografskih prepreka, da se uzdiže ili penje uz padine planina.

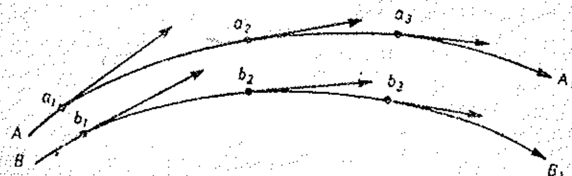
Na svaki delič vazduha u atmosferi deluju: sila teže, gradijentna sila, sile trenja i prividna sila devijacije ili Koriolisova sila.

U atmosferi se vazduh kreće u saglasnosti sa jednačinama dinamike, na razne tačke. U sklopu vrtloga najvećih razmera, ciklona i anticiklona, vazduh rotira, na drugim mestima se kreće pravolinijski, negde se penje ili spušta i pri tome mu se zapremina povećava ili smanjuje.

Kretanje vazduha u širim razmerama može obuhvatiti plići ili deblji prizemni sloj atmosfere. Tada se obrazuju vazdušna strujanja koja su kontinuarna u vremenu, pa čine čitav sistem vetrova.

Raspodelu vazdušnog strujanja iznad zemljine površine ili tzv. vazdušno strujno polje možemo posmatrati kao vektore

sa pravcem i brzinom u datoj tački polja, ili u vidu vazdušnih strujnih linija strujnica (sl.1.15).



Sl.1.15. Vazdušne strujne linije-strujnice

Vazdušne strujnice su linije čije se tangentne u svakoj tački poklapaju sa pravcem vetra (AA_1 i BB_1). Tangente su vektori brzina koji pokazuju pravac i jačinu vetra u tačkama $a_1, a_2, a_3 \ldots$ i $b_1, b_2, b_3 \ldots$

Strujnice veoma pregledno pokazuju promene pravca kretanja vazduha od tačke do tačke. Strujnice ne treba mešati sa trajektorijama, jer ove predstavljaju krive po kojima se vazdušne čestice kreću u odnosu na izabrani koordinatni sistem.

Kako se polje vetra menja u vremenu tako se menjaju položaji strujnica. Ako je vazduh prinudjen da se sabija, zbog orografskih uslova, strujnice se zgušnjavaju. Na izlazu iz orografskih tesnaca vazduh se širi, i strujnice se razilaze. Na mestima sabijanja brzina vetra je najveća, a na izlazu slabi. Na kretnje vazduha utiče i trenje, koje se javlja zbog hrapavosti i neravnomerne podloge, i nejednako zagrejane zemljine površine. Svi pomenuti parametri utiču na pojavu turbulencije, pa u svakoj tački prostora nastaju nagle promene pravca i brzine vetra. Uopšteno,kretanje vazduha sastoji se iz niza odvojenih udara i zastoja, ali koji neprekidno slede jedan za drugim, u rafalima ili na mahove.

Pod brzinom vetra podrazumevamo neko srednje kretanje vazduha u toku kraćeg intervala vremena, izmedju dva merenja ili osmatranja.

Rafalnost, mahovitost ili udarnost vetra menja se u zavisnosti od brzine vetra. Ukoliko je ova veća-veće su udarnosti vetra. Medjutim, mogu se pri jakom vetru opaziti i manje udarnosti,jer osim brzine udarnost vetra zavisi i od termičke

stratifikacije u atmosferi. Na primer, ako je stabilno stanje u atmosferi udarnost je vrlo slaba ili je nema; u nestabilnoj može biti vrlo velika i dostiže najveće vrednosti. Čestina javljanja udarnosti ima izražen dnevni i godišnji hod.

U toku dana sa pojavom konvekcije se povećava. Maksimum je u popodnevnim časovima, a minimum u toku noći.

U toku godine maksimum javljanja udarnosti je u prolećnim mesecima, a minimum u zimskim. Maksimum u proleću je u vezi sa pojavom vegetacije i uopšte veoma raznovrsne aktivne zemljine površine, i povećanom turbulencijom u prizemnom sloju atmosfere. Udarnost vetra je veća iznad neravne i hrapave zemljine površine, i smanjuje se sa visinom.

Iznad brdovitih terena, na ispresecanom zemljišti, iznad šumskim kompleksa i sl. čestina javljanja i intenzitet udarnosti je veći nego iznad ravničarskih terena, bez orografskih i dr. prepreka. Udarnost vetra se opaža sve do visine 2-3 km.

U nekim karakterističnim situacijama, na primer, pri inverzijama, u inverzionom sloju ne opaža se udarnost vetra. Medjutim, kod pridignutih ili visinskih inverzija neposredno ispod inverzionog sloja javlja se pojačana udarnost vetra.

U nestabilnoj vazdušnoj masi, kada se javljaju jaka uzlazna strujanja i vrlo aktivne grmljavinske nepogode, u oblacima ili ispod njih javljaju se veoma jaka vrtložna kretanja vazduha oko horizontalne ose. Ovi horizontalni vrtlozi stvoriće, tada, velike udarnosti vetra, koje su sve jače što se približava nepogodski oblak (kumulonimbus). U prostoru oko prednjeg dela ovog oblaka javlja se vetar olujne jačine. U vrlo kratkom vremenskom intervalu od nekoliko minuta brzina vetra se povećava do 20 ili 30 m/s, a udari vetra, veoma snažni, javljaju se jedan za drugim s malim prekidima.

U prizemnom sloju, neposrednom iznad zemljine površine vetar menja pravac i brzinu kako zbog orografskih prepreka tako i zbog brojnih i velikih gradjevinskih objekata, šumskih kompleksa i sl. prepreka.

U blizini ovakvih prepreka menja se struktura vetra, nastaju vrtlozi a sa ovima i pojačana turbulencija. Njihove dimenzije su veoma različite i zavise od veličine i rasporeda

prepreka, brzine vetra i stanja atmosfere.

Kod prepreka velikih dimenzija, velike horizontalne dužine, kao što su planinski grebeni, brda, šume, sa privetrinske strane stvaraju se vrtlozi s horizontalnom osom paralelnoj prepreki, a pri zemljinoj površini vazduh se kreće od prepreke. Pre nego što dostigne prepreku vazduha je prinudjen da se diže, a iznad prepreke se sabija usled čega se povaćava njegova brzina. Iza prepreke strujnice se šire, spuštaju i na nekom rastojanju dostižu zemljinu površinu. Neposredno iza prepreke stvara se "zavetrina", centar ove brzine vetra se naglo smanji, ali se zato javljaju vrtlozi sa horizontalnom osom. Veća brzina vetra iznad prepreke, kao da želi da usisa vazduh iza prepreke. Dejstvo ovakvih vrtloga može se posmatrati zimi na oblicima snežnih nanosa.

Vrtlozi na privetrinskoj stani su obično na nekoj visini iznad zemljine površine, a na zavetrinskoj pri zemljinoj površini i nešto su većih dimenzija. I sa jedne i sa druge strane prepreke vrtlozi se opažaju na rastojanju koje je 10 do 20 puta veće nego što je visina prepreke.

Vazduh obilazi prepreku sa svih strana. S bočne strane prepreke brzina vazdušne struje se povećava, a sa zadnje nastaju vrtložna strujanja sa vertikalnom osom. Kroz uži prolaz izmedju brda ili kroz planinski tesnac, na prevoju vazdušne strujnice se sabijaju i na ovakvim mestima javlja se znatno jači vetar nego u okolini. Pri ovome značajnu ulogu ima i termička stratifikacija. U stabilnoj vazdušnoj masi vazduh teži da obidje prepreku, najčešće, sa bočne strane, a u nestabilnoj razvijaju se jaka uzlazna kretanja sa privetrinske strane, i tada vazduh prelazi prepreku preko vrha.

Vetar u dolini nesmetano duva duž ose doline. Medjutim, ako je pravac vetra normalan na osu doline njegova brzina je slabija. U podnožju doline vetar je znatno slabiji nego na visini. Zbog visinskog strujanja vazduh u dolini postepeno ističe nagore, pa u dolini nastaje vrtlog sa horizontalnom osom.

Uticaj šume na vetar može se dvojako posmatrati. Ispred šume, već na rastojanju od oko 50 m vetar oslabi, a u šumi postaje i sasvim slab ili se ne oseća, ako je šuma gušća. Iza šume vetar je znatno slabiji nego iznad ili ispred šume. Slabljenje se opaža sve do 500 m iza šume. U zavisnosti od gustine šume veći ili manji deo vazdušne mase se diže i prelazi šumu, a drugi prodire do izvesne dubine. Iznad šume brzina vetra se povećava, a sa njome i udarnost, sve do visine 200 do 300 m iznad zemljine površine.

Zahvaljujući ovakvom uticaju šume na brzinu vetra, šuma se često koristi kao zaštita od snežnih nanosa, nanosa prašine, jakog vetra ili da se sačuva zemlja od oduvavanja sa podloge.

U ma kojoj tački u atmosferi, i ma kom trenutku vremena vazduh struji nekom odredjenom brzinom. To je vektor brzine sa tri komponente koje leže u pravcu ose proizvoljno izabranog ortogonalnog koordinatnog sistema. Vetar brzine ($\vec{V}$) i tenzor ($\Delta \vec{V}$) tačno odredjuju strujno polje u oblasti neke tačke (T) u odredjenom trenutku vremena (t). U opštem slučaju te dve vrednosti su funkcije vremena i koordinata. U oblasti tačke (T) vektor brzine $\vec{V}$ jednak je zbiru potencijalnih vektora brzine: $\vec{V}=\vec{V}_t+\vec{V}_d+\vec{V}_v+\vec{V}_r$, elementarnih polja: translacije, deformacije, divergencije i rotacije, sa zajedničkim centrom u tački T.

Postoji bezbroj kombinacija, tj. bezbroj mogućnosti u pogledu raspodele brzine u prostoru. Proučavanju raznih mogućnosti posvećena je u meteorologiji posebna pažnja (M. Čadež, 1973).

Već je bilo reči da se vazduh zaustavlja ispred prepreke (orografske ili gradjevinskog objekta i konstrukcije), sabija, na kom se mestu vazdušni pritisak poveća, a iza prepreke vazdušni pritisak je manji nego u okolini. Ovde pomenimo da se ove razlike lako mogu proceniti. Tako, u pravcu strujanja na vazduh deluju po jedinice mase sila težine ($g \sin \varphi$ i gradijentna sila $-\frac{1}{\varrho}\frac{\partial p}{\partial s}$; φ je ugao pod kojim je nagnuta strujnica prema horizontalnoj ravni). Kad zanemarimo sile trenja i ako je $\frac{dv}{dt}$ ubrzanje u pravcu puta, prema osnovnoj jednačini dinamike:

$$\frac{dv}{dt} = -g \sin \varphi - \frac{1}{\varrho}\frac{\partial p}{\partial s}$$

Množenjem sa V i reduciranjem jednačine na nulu dobijamo:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{v^2}{2}\right) + g\frac{dz}{dt} + \frac{1}{\varrho}\frac{\partial p}{\partial s} v = 0$$

($\frac{dz}{dt}$ promena visine posmatranog vazduha u jedinici vremena).

Vrednost $\frac{\partial p}{\partial s}v$ predstavlja, pod pretpostavkom da je polje pritiska stacionarno $(\frac{\partial p}{\partial t}=0)$, individualnu promenu pritiska $\frac{dp}{dt}$. Ako smatramo da se u toku vremena gustina vazduha srazmerno malo menja onda dobijenu jednačinu možemo pisati u obliku:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{v^2}{2}+gz+\frac{p}{\rho}\right)=0$$

Vidimo da je duž trajektorije, odnosno duž strujnice, ako je strujno polje stacionarno, što je ovde i pretpostavljeno neka konstanta vrednost. Ako je na visini Z=Zo, pritisak $p=P_0$ i brzina V=Vo odna sledi:

$$\frac{v}{2}+gz+\frac{p}{\rho}=\frac{v_0^2}{2}+gz_0+\frac{p_0}{\rho} \qquad (1.26)$$

To je poznata Bernulijeva jednačina: za ma koji delić vazduha u atmosferi, pod navedenim uslovima, zbir iz kinetičke energije, potecijalne energije i"potencijalne energije raspodele vazdušnog pritiska" (p/ρ) je konstantan.

Iz Bernulijeve jednačine dobijamo u tom slučaju da je pritisak vazduha neposredno ispred prepreke (kada je Vo=0) povećan za:

$$p-p_0=\frac{\rho v^2}{2} \qquad (1.27)$$

Ovo povećanje, koje je posledica zaustavljanjavazduha, srazmerna je gustini i kvadratu brzine vetra. Ono predstavlja dinamički pritisak na prepreku.

Na kretanje vazduha, osim pomenutih sila, utiče i sila trenja (R) koja se sastoji iz spoljašnjeg (Ro) i unutrašnjeg trenja (R_1). Spoljašnje trenje je u vezi sa hrapavošću terena, a unutrašnje sa molekularnom i turbulentnom viskoznošću vetra. Spoljašnje trenje utiče na kretanje, ali ne i na pravac vetra. Upravljeno je u suprotnom smeru od kretanja, a proporcionalno je njegovoj brzini: $R_0=-K_0V$, u kojoj je K_0-koeficijent proporcionalnosti, koji zavisi od hrapavosti podloge.

Unutrašnje trenje nastaje zbog različitih brzina srednjih vazdušnih slojeva ili masa, kada se izmedju ovih javlja viskoznost, koja se odupire njihovom mešanju. Osnovni deo unutrašnjeg trenja uslovljen je turbuletnošću i zbog toga se često naziva i turbulentno trenje. Ovo je za oko desethiljada puta veće od molekularnog. Uzroci koji povećavaju turbulenciju, jednovremeno izazivaju i povećanje unutrašnjeg trenja. Na taj način,

povećavaju ukupnu silu trenja.

Sila trenja je dakle rezultanta vektora spoljašnjeg i unutrašnjeg trenja, upravljena u stranu suprotnom kretanju, a jednaka je:

$$R=-kV$$

K-koeficijent trenja koji zavisi od homogenosti zemljine površine, kao i K_0i od intenziteta turbulencije.

Trenje se smanjuje sa visinom i već na visini iznad 1000 m skoro se ne uzima u obzir. Sloj atmosfere u kojem trenje ima značajan uticaj na kretanje vazduha naziva se sloj trenja.

Posmatrajmo vazdušna kretanja u planetarnim razmerama, iznad Zemlje, kada koordinatni sistem čine paralele i meridijani. Na vazdušno kretanje, osim izloženih sila, utiče i sila devijacije ili Koriolisova sila, koja nastaje zbog okretanja Zemlje oko svoje ose. Od svog početnog kretanja vazduh na svom putu prividno sve više odstupa. Ako se kreće od ekvatora prema severnom polu skreće udesno, a prema južnom-ulevo.

Na horizontalno kretanje vazduha utiče horizontalna komponenta sile devijacije: $A=2V\omega\sin\varphi$ (V-brzina vetra, ω -uglovna brzina Zemlje i φ -geografska širina). Na polu je sila devijacije najveća i iznosi: $A_{max}=2V\omega$.

Na vertikalno kretanje vazduha utiče vertikalna komponenta sile devijacije, ali je ona u uporedjenju sa horizontalnom veoma mala.

Kod kružnog kretanja vazduha mora se uzeti u obzir i centrifugalna sila. U proračunu na jedinicu mase izražava se formulom: $C=\frac{V^2}{r}$, (V-brzina kretanja vazduha, r-poluprečnik krivine trajektorije). Upravljena je duž poluprečnika krive trajektorije. Pri velikim brzinama vetra i malom prečniku kružne izobare centrifugalna sila je velika i tada, prevazilazi gradijentnu silu. Ovakvo stanje se javlja u toploj polovini godine pri snažnim nepogodama, tornadima i tropskim ciklonima, u uslovima malih vrtložnih kretanja sa vertikalnom osom.

U slobodnoj atmosferi, iznad sloja trenja gde se sile trenja često mogu zanemariti vetrovi duvaju uglavnom u pravcu izobara. Ovakvi se vetrovi u meteorologiji nazivaju gradijentni vetrovi i delimo ih u dve grupe. Ako duvaju konstantnom brzinom duž pravolinijskih i paralelnih izobara zovu se

geostrofski vetrovi, a ako duvaju duž krivolinijskih izobara neubrzano, gradijentne vetrove zovemo ciklostrofski vetrovi.

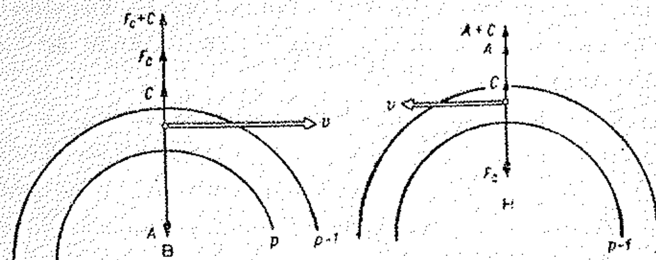
Brzinu geografskog vetra (Vg) računamo iz jednačine za gradijentnu silu i silu devijacije:

$$V_G = \frac{1}{\rho} \frac{\Delta p}{\Delta n} \frac{1}{2\omega \sin\varphi} \tag{1.28}$$

Brzina geografskog vetra upravo je proporcionalna gradijentu pritiska, a obrnuto proporcionalna geografskoj širini mesta i gustini vazduha. Pri jednakom gradijentu pritiska duvaju, prema tome, jači vetrovi na manjim, nego na većim geografskim širinama.

U slučaju krivolinijskih, kružnih izobara pravac gradijentnog pritiska, a prema ovome i gradijentne sile, menja se od tačke do tačke, pa je i kretanje vazduha krivolinijsko, odnosno kružno. Kako nema sile trenja na kretanje vazdušnih čestica deluju gradijentna sila, sila devijacije i centrifugalna sila. Gradijentni vetar koji duva duž kružnih izobara nazivamo geociklostrfski ili ciklostrofski vetar.

Na sl. 1.16. prikazani su odnosi sila gradijentnog vetra u anticiklonu i ciklonu.



Sl.1.16. Raspodela sila kod gradijentnog vetra u anticiklonu (a) i ciklonu (b) za severnu hemisferu

Gradijentna sila (F_G) u anticiklonu upravljena je

normalno na izobare i u pravcu smanjenja pritiska, dakle od centra ka periferiji, u kom smeru je upravljena i centrifigalna sila (C). Koriolisova sila je upravljena u suprotnom pravcu i uranotežena je sa zbirom prethodne dve sile: gradijentom i centrifugalnom. Vektor brzine ($\vec{V}$) upravljen je udesno od gradijentne sile (sl.1.16,a).

U ciklonu, gradijentna sila upravljena je od periferije ka centru baričkog sistema i uravnotežena je sa centrifugalnom i silom devijacije (sl.1.16,b).

Brzinu gradijentnog vetra u anticiklonu i ciklonu nalazimo iz uslova uravnoteženja svih sila:

$$F_G - A \pm C = 0$$

Znak plus ispred poslednjeg člana se odnosi za anticiklone, a minus za ciklone. Stavljajući izraze za sve sile, dobijamo sledeću kvadratnu jednačinu:

$$\frac{1}{\rho} \frac{\Delta p}{\Delta n} - 2V\omega \sin\varphi \pm \frac{V^2}{r} = 0$$

rešavajući po V, dobijamo za anticiklone:

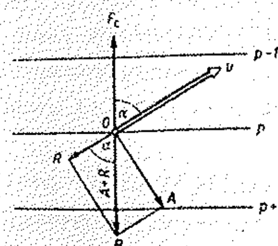
$$V_a = \omega r \sin\varphi \pm \sqrt{\omega^2 r^2 \sin^2\varphi - \frac{r}{\rho}\frac{\Delta p}{\Delta n}} \tag{1.29}$$

i za ciklone: $$V_c = -\omega r \sin\varphi \pm \sqrt{\omega^2 r^2 \sin\varphi + \frac{r}{\rho}\frac{\Delta p}{\Delta n}} \tag{1.30}$$

Da bi se pravilno izabrali znaci ispred korena, podsetimo se da je kod gradijenta pritiska koji je jednak nuli, brzina gradijentnog vetra V takodje jednaka nuli. Ovaj uslov će se ispuniti ako jednačina (1.29) pred korenom ima minus, a jednačina (1.3o) plus.

Razmotrimo ova kretanja vazduha kod pravilnijiskih i kružnih izobara pri zemljinoj površini, kada je neophodno uzeti u obzir i silu trenja (R). I kod jednih i kod drugih izobara kretanje vazduha će biti ravnomerno ali neće biti paralelno izobarama. Na sl.1.17. prikazan je odnos sila kod pravolinijskih izobara u sloju trenja (na severnoj hemisferi). Vektor brzine (V) u tački 0 odstupa od baričkog gradijenta udesno za ugao $\alpha < 90°$.

Brzina u sloju trenja kod vetra koji duva pod izve



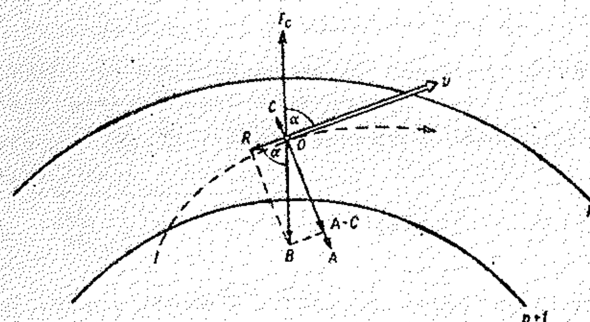
Sl.1.17. Odnos sila pri ravnomernom kretanju vazduha kod pravilnijskih izobara u sloju trenja

snim uglom na prave izobare iznosi:

$$V = \frac{1}{\varrho} \frac{\Delta p}{\Delta n} \frac{1}{\sqrt{(2\omega \sin\varphi)^2 + K^2}} \qquad (1.31)$$

Brzina vetra u sloju trenja je proporcionalna horizontalnom gradijentu pritiska.

Na sl. 1.18. prikazana je ravnoteža sila kod vetra



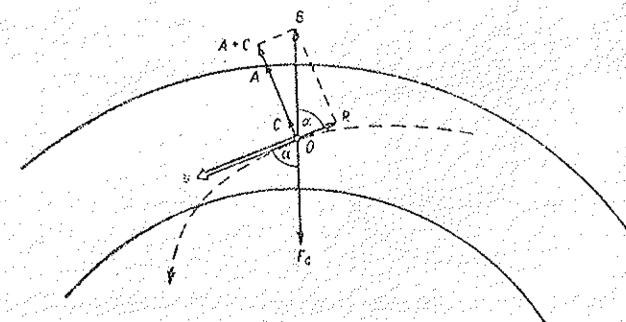
Sl.1.18. Odnos sila pri ravnomernom kretanju vazduha u anticiklonu u sloju trenja

u prizemnom sloju u anticiklonu, a na sl.1.19. u ciklonu, za severnu hemisferu. Crtkasto izvučena linija je trajektorija vazdušnih čestica.

U anticiklonu, pri stacionarnom kretanju vazduha gradijentna sila je uravnotežena zbirom sile trenja, sile devijacije i centrifugalne sile, koja dejstvuje u stranu suprotno od sile devijacije. Rezultanta ovih sila ima suprotan smer od gradijentne sile, ali je jednaka njenoj veličini.

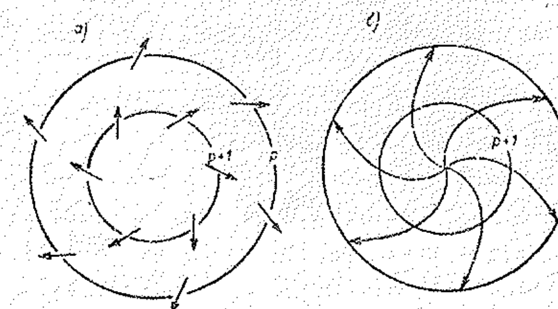
Na sl. 1.19. prikazan je odnos sila pri kretanju vazduha u ciklonu u sloju trenja. Ovde je gradijentna sila upravljena od periferije ka centru, vektor brzine skreće udesno od

nje (na severnoj hemisferi) sila devijacije normalna je na vektor brzine i skreće od ovoga takodje udesno, dok je centrifugalna sila normalna vektoru brzine i usmerena po poluprečniku trajektorije kretanja od njenog centra; sila trenja usmerena je suprotno od vektora brzine. Iz slike je lako videti, da je u ciklonu pri stacionarnom kretanju vazduha gradijentna sila takodje u ravnoteži sa sumom sila trenja, devijacije i centrifugalne koja dejstvuje u istom smeru kao i sila devijacije.



Sl.1.19. Odnos sila pri ravnomernom kretanju vazduha u ciklonu u sloju trenja

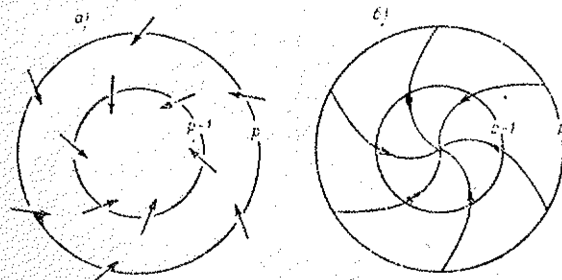
Radi preglednije raspodele vektora brzine i strujnih linija u anticiklonu i ciklonu daju se crtežina sl. 1.20 i 1.21. Kao što se vidi iz sl. 1.20. kretanje u anticiklonu uvek



Sl.1.20. Vektori brzine (a) i strujne linije (b) u anticiklonu (severna hemisfera)

je upravljeno u pravcu kretanja skazaljki na časovniku, od centra anticiklona ka njegovoj periferiji, vazduh teži da izadje iz oblasti anticiklona. Kao nadoknada ovom gubitku vazduha, u centralnim delovima anticiklona vrši se neprekidno spuštanje vazduha iz viših slojeva atmosfere.

Na sl. 1.21. prikazan je sistem vetrova u ciklonu pomoću vektora brzine i strujnih linija. Iz ovoga se vidi kretanje vazduha u ciklonu koje je upravljeno u suprotnom smeru kretanja skazaljki na časovniku, dakle, od periferije ka centru ciklona. Na ovaj način vazduh iz okolnih područja teži da popuni ciklon, jer u središnjim delovima ciklona razvijeno je uzlazno kretanje vazduha iz prizemnog sloja ka višim slojevima atmosfere.



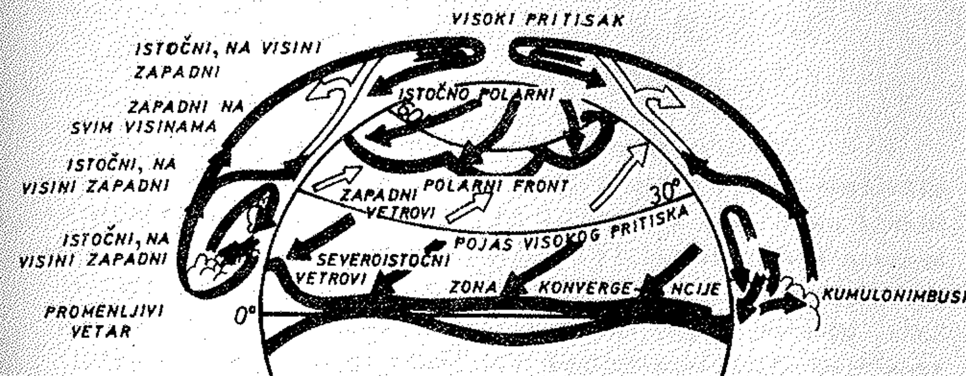
Sl.1.21. Vektori brzina (a) i strujne linije (b) u ciklonu (severna hemisfera)

U izloženim primerima vidimo da pod dejstvom sila spoljašnjeg trenja vazduh ne teče u pravcu izobara, već prema oblasti niskog vazdušnog pritiska. Neubrzano strujanje vazduha se vrši tako da nizak vazdušni pritisak leži na levoj strani malo napred, ako nam vetar duva u ledja, odnosno, na našoj desnoj strani ispred ako se nalazimo na južnoj hemisferi (Bejs Balotovo pravilo).

Skup svih osnovnih vazdušnih strujanja na Zemlji.koja se mdjusobno razlikuju po karakterističnim osobinama, veličini i poreklu nazivamo opštom cirkulacijom atmosfere. Vetrovi na Zemlji nastaju i održavaju se zbog nejednakog zagrevanja i hladjenja zemljine površine i vazduha na različitim geografskim širinama iznad kopna i mora. Opšta cirkulacija atmosfere još je složenija zbog uticaja Koriljisove sile i sila trenja. Mada veoma složena, mogu se izdvojiti izvesne stalne osobine, karakteristične da se periodično ponavljaju iz godine u godinu.

Na sl.1.22. prikazana je šematska raspodela pritiska i preovladjujućih vetrova na severnoj hemisferi.

U vezi sa opštom cirkulacijom atmosfere i raspodelom vazdušnog pritiska na Zemlji mogu se izložiti sledeće opšte karakteristike strujnog polja atmosfere pri tlu.



Sl.1.22. Preovladjujući vetrovi na severnoj hemisferi

1. U hladnoj polovini godine sa jakim gradijentima vazdušnog pritiska vetrovi su jači nego u toploj polovini godine.

2. Zbog rashladjenosti kontinenata u hladnoj i zagrejanosti u toploj polovini godine, pasatska cirkulacija je na raznim mestima poremećena monsunskom cirkulacijom: strujanje vazduha prema kontinentu leti i od kontinenta zimi. Tako u Indijskom okeanu (izmedju 20° N i ekvatora) mesto pasatskih duvaju monsunski vetorvi-monsuni (zimi severni, leti jugozapadni).

3. Dve oblasti niskog atmosferskog pritiska na severnoj polulopti u severnim oblastima okeana u hladnoj polovini godine odlikuju se jakim vetrovima i konvergentnim strujanjima. Za razliku od pasatskih i monsunskih, ti su vetrovi vrlo nestalni i zavise od razvoja ciklona.

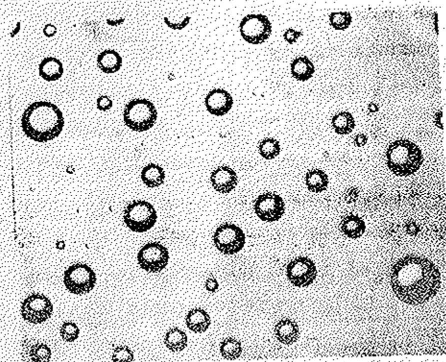
4. I na severnoj i južnoj hemisferi su pojasevi gde se zadržavaju suptropski anticikloni sa poznatim slabim vetrovima i tišinama nastalim zbog opšteg spuštanja vazduha koji dolazi sa velikih visina i koji, pri tlu teče delom prema polovima, delom prema ekvatoru.

5. Zone pasatskih vetova odvojene su jedna od druge zonom tišine i prizemne konvergencije u ekvatorskom pojasu niskog vazdušnog pritiska.

1.2.3. Oblačnost i padavine

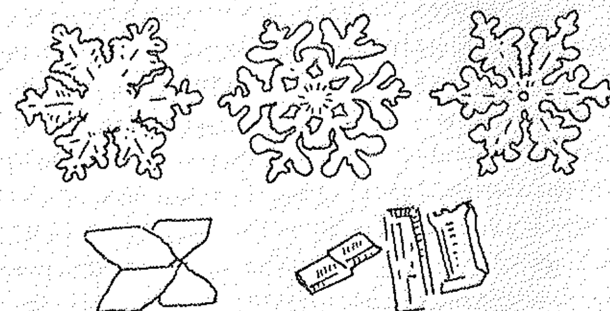
1.2.3.1. O b l a č n o s t

Oblak je skup sitnih elemenata kondenzovane ili sublimirane vodene pare, koji se nalazi na izvesnoj visini u slobodnoj atmosferi, za razliku od magle, koja je takodje skup elemenata kondenzovane ili sublimirane vodene pare, ali pri zemljinoj površini. Oblak sačinjavaju kapljice vode i kristalići leda, odnosno snega. Delovi oblaka sa tečnim i čvrstim elementima nisu oštro razgraničeni već imaju prelaznu zonu u kojoj istovremeno mogu biti ledeni kristali i prehladjene vodene kapi. Dimenzije vodenih kapi u oblaku su vrlo različite, prečnici su u granicama od 0.5 $\times 10^{-4}$ do 0.07 cm. U početnom stadijumu prečnici su 5 do 50 µm kao i kod magle, a u procesu razvoja kapi narastu toliko da su prečnici od 50 do 200 µm kao i kod sipeće kiše ili rosulje. U ovom poslednjem stadijumu najveće kapi lagano padaju prema zemljinoj površini. U daljem razvoju oblaka prečnik kapi je još veći. U pojedinim delovima oblaka mogu biti 500 do 5000 µm. Rast kapi nastaje usled koagulacije, različitog naelektrisanja i kondenzacije. Veličina kapljica u oblaku odredjuje se specijalnim mikrofotografijama, kao što je to na sl.1.23.



Sl.1.23. Mikrofotografija oblačnih elemenata vrlo uvećanih

Kristali leda u oblaku takodje imaju vrlo različite dimenzije i oblike. Veličina i oblik kristala zavise od temperature i vlažnosti vazduha u oblaku. Najčešće oblici kristala su šestougaone zvezde sfero-kristali, štapići, štapići sa pločicama itd. Nastaju u delovima oblaka sa niskom temperaturom vazduha u kojima dolazi do vrlo spore sublimacije vodene pare. Nekoliko karakterističnih oblika snežnih kristala je na sl.1.24.



Sl.1.24. Nekoliko oblika snežnih i ledenih kristala

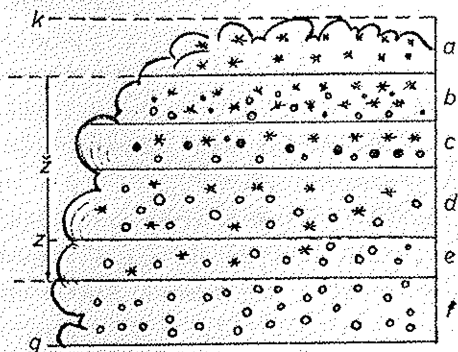
Kapljice i kristali u oblaku bivaju nošeni uzlaznim strujanjem u gornje delove oblaka. Slabljenjem uzlaznog strujanja spuštaju se naniže, prema donjim delovima, usled sile zemljine teže. Zbog promenljive jačine uzlaznog strujanja u oblaku se temperatura i vlažnost vazduha neprekidno menjaju, a sa njima i agregatno stanje oblačnih elemenata.

Premeštanje oblaka u horizontalnom pravcu nastaje usled horizontalnog strujanja - vetra, a delovanjem vetra i konvekcije nastaju istovremeno premeštanja i vertikalna kretanja oblačnih elemenata, i turbulentnost, koja u oblaku može biti vrlo jaka.

Na granici oblaka i okolne sredine, i u neposrednoj blizini sa spoljne strane oblaka, vazduh nije zasićen vodenom parom, pa kapljice i kristali na graničnoj površini isparavaju a vodena para iz oblaka se prenosi u okolnu sredinu. Dopunski priliv vodene pare oblaku donose uzlazna vazdušna strujanja i ukoliko bi ova ostala ili prestala započinje rasturanje i isparavanje oblaka. Dakle, postojanje i održavanje nekih vrsta oblaka uslovljeno je uzlaznim strujanjima, koja donose vodenu paru oblaku. U pojedinim delovima oblaka intenzitet uzlaznih strujanja nije isti, pa prema tome ni priliv vodene pare, ni veličina i vertikalni razvoj pojedinih delova oblaka. Uopšte se može reći, da razlike u unutrašnjoj strukturi i spoljašnjem izgledu oblaka zavise, kako od intenziteta uzlaznog strujanja, tako i od veličine područja iznad koga se dešavaju uzlazna strujanja, termičkih i drugih činilaca. Medjutim, veličina oblaka,

a naročito veličina u vertikalnom pravcu zavisi od više činilaca: unutrašnje strukture, visine nivoa kondenzacije, nulte izoterme, zaledjivanja i negativne temperature, i od konvekcije.

Na sl.1.25. je unutrašnja struktura oblaka. Nivo kondenzacije je na visini na kojoj se nalazi osnova ili donja granica oblaka (g); izmedju nivoa kondenzacije i nulte izoterme nalaze se vodene kapljice (f) i ponekad snežni kristali (✻). Iznad nulte izoterme, u području negativne temperature, su snežni kristali. U narednom, višem delu oblaka su snežni kristali i prehladnjene vodene kapljice. Ove poslednje, nalazimo i u područjima sa vrlo niskom temperaturom (b i c). U najvišem delu oblaka (a), zbog sublimacije vodene pare i smrzavanja prehladjenih kapi vode, nalaze se samo kristali.



Sl.1.25. Struktura oblaka (prema B.V.Karjunimu i L.G.Kačurinu,1972)

Prema spoljašnjem izgledu oblaci se dele na rodove, vrste, podvrste, dopunske oblake, oblake pratioce i tzv. matične oblake. Zbog složenosti kod odredjivanja vrste oblaka, pri osmatranju se na meteorološkim stanicama koristi Medjunarodni atlas oblaka u kome se nalaze detaljni opisi oblaka i uputstvo za osmatranje oblaka sa albumom silka. Ovde će se izneti kratki opisi nekoliko rodova oblaka sa latinskim nazivom, kako se i daje u morfološkoj medjunarodnoj klasifikaciji oblaka.

C i r u s (Ci). Beli nežni pramenovi, vlaknastog, perjastog ili končastog izgleda, ili u vidu banaka ili belih uskih pruga svilastog sjaja. Pružaju se pravolinijski ili malo povijeno, tako da vlakna ili konci imaju oblik zapete ili nezaokrugljen pramen. Kada su u bancima izgledaju sivkasto. Cirusi se sastoje od ledenih kristala. Nalaze se na visini 8-9 km.

C i r r o s t r a t u s (Cs). Prozračan i tanak beličast veo ili sloj glatkog izgleda, koji potpuno ili delimočno pokriva nebo (sl.1.26). Sastoji se od ledenih kristala kroz koje se naziru konture Sunca ili Meseca. Cirostratus je na visini

8-9 km.

C i r r o s u m u l u s (Cc). Male snežne loptice, bankovi ili ovčice, ili tanak beličasti sloj, sastavljennih od vrlo malih elemenata u obliku zrnaca, bora itd. slepljenih ili više manje pravilno poredjanih slično mreži ili pčelinjim saćima. Cirokumulusi su isključivo sastavljeni od ledenih kristala, ali pored ovih mogu se opaziti i prehladjene vodene kapi. Nalazi se na visini 6-7 km.



Sl.1.26. Cirostratus (prema Medjunarodnom atlasu oblaka, CMI, Pariz, 1910)

A l t o s t r a t u s (As). Sivkasti ili beličasti neprozračan sloj, slično izdignutoj magli, izbrazdatog vlaknastog ili ujednačenog izgleda. Potpuno ili delimično pokriva nebo. Na mnogim mestima dovoljno je tanak oblačni sloj kroz koji se Sunce nejasno providi. Javlja se na visini 3 do 5 km.

A l t o c u m u l u s (Ac). Beli ili sivi, ili istovremeno oboje, slojevi oblaka u vidu loptica brežuljkastog oblika, banaka, sa ili bez senke, sastavljeni od ljuspica, oblutaka, valjaka, pločica, grudvi ili oblica, katkad slepljenih ili odvojenih (sl.1.27). Rasporedjeni su dosta pravilno u grupe. Ako su nanizani u redove govore o postojanju vazdušnih talasa, na ovim visinama. Atmokulusi se javljaju na visini 3-4 km.

S t r a t o c u m u l u s (Sc). Banak, navlaka ili sloj sivih ili sivobeličastih oblaka, često talasastih. Sastavljeni su od pločica, oblutaka, valjaka itd. slepljenih ili odvojenih. Mogu pokriti čitavo nebo. Daje padavine slabog intenziteta u obliku kiše i snega. Javlja se na visini 1.5 do 2.5 km.

C u m u l u s (Cu). Izdvojene guste gomile, kao debele oblačne lošte sa jakim vertikalnim razvojem. Jasno izražene ivice u obliku zaobljenih tornjeva ili kupola. Donji delovi oblaka su oštro horizontalno ograničeni i tamni. Izgledaju slično ogromnim kupolama. Usled jakog uzlaznog strujanja vrlo su



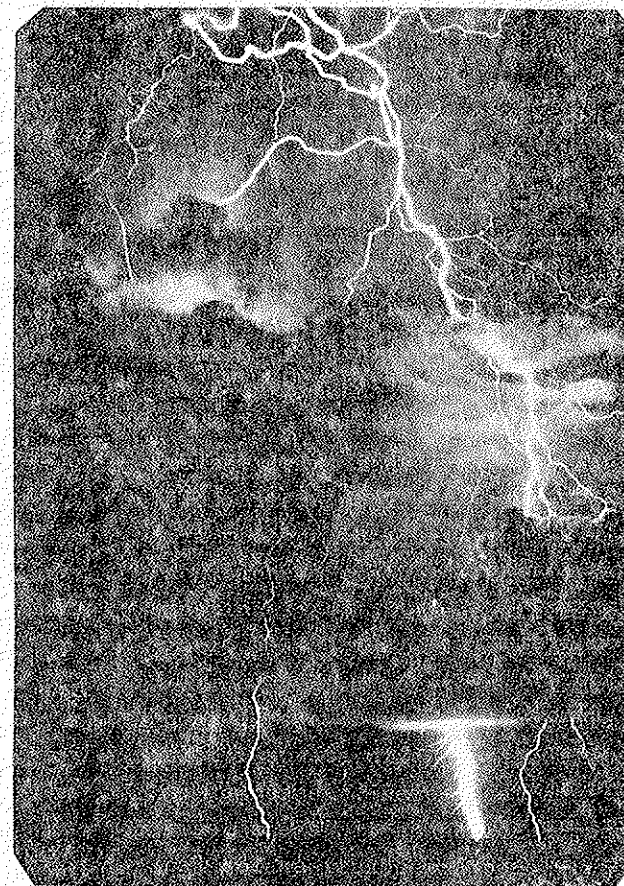
Sl.1.27. Altokumulus (prema Medjunarodnom atlasu oblaka, CMI, Pariz, 1910)

razvijeni u vertikalnom pravcu, čak nekoliko kilometara. Zbog toga je baza na visini 1 do 2 km a vrh na visini 4 do 5 km.

S t r a t u s (St). Oblačni sloj obično sive boje, na maloj visini iznad zemljine površine, ispod 1 km. Ujednačeni sloj sličan magli. Nastaje usled hladjenja zemljine površine ili mešanja toplih i hladnih vazdušnih masa na granici inverzionog sloja. Stratus je sastavljen od sitnih kapi. Pri dovoljnoj gustini i debljni daje sipeću kišu, ledene prizmice ili zrnast sneg.

N i m b o s t r a t u s (Ns). Siv debeo oblačni sloj tamnosive boje. Stvara se kada sloj altostratusa postaje sve deblji i spušta niže prema zemlji. Usled kiše ili snega izgled mu je nejasan. Daje dugotrajne neprekidne padavine u obliku kiše, snega ili susnežice. Ispod njega se nalaze iskidane "krpe" oblaka-fraktostratusi i fractocumulusi. Pri nestabilnom tipu vremena može imati debljinu 100 do 500 m. Baza se nalazi na visini oko 100 m, a gornji delovi na 3000 m.

C u m u l o n i m b u s (Cb). Snažna i moćna oblačna masa, vrlo gusta sa znatnim vertikalnim razvojem. U obliku je planine ili ogromne kule čiji gornji vrh pokazuje vlaknastu strukturu, ali glatku gotovo spljoštenu u oblku nakovnja, ili prostrane perjanice. Baza ovog oblaka je ravna i vrlo tamna ili olovno siva. Sastavljen je iz kišnih kapi, snežnih kristala, zrnastog sneja, sugradice i grada. Daje jake padavine u obliku pljuska kiše i snega. U njemu se stvaraju jaka električna polja koja dovode do atmosferskih električnih pražnjenja (sl. 1.28). Zbog istraživanja broja pražnjenja u tehničkoj meteorologiji se posebna pažnja posvećuje radarskim podacim o intenzitetu i pravcima kretanja kumulonimbusa.



Sl.1.28. Kumulonimbus

Osmatranje oblaka obuhvata osim odredjivanja (raspoznavanja) vrsta oblaka, ocenu količine oblačnosti, odredjivanje gustine (debljine) i merenje ili ocenu visine. Pod pojmom količine oblačnosti podrazumeva se stepen naoblačenja ili po-

krivenosti neba oblacima, tj. veličine oblačnog pokrivača u odnosu na celo nebo. Razlikujemo ukupnu i delimičnu oblačnost. Ukupna oblačnost se odnosi na veličinu zastiranja neba od strane svih oblaka zajedno, a delimična na veličinu zastiranja od strane samo jedne vrste oblaka ili jednog oblačnog sloja.

Oblačnost se izražava i beleži celim brojevima od 0 do 10. Oblačnost 0 znači da je nebo potpuno vedro, bez ijednog makar i najmanjeg oblačka. Oblačnost 1 znači da na nebu postoji makar i najmanji oblačak pa do količine koja odgovara 1/10 neba. Oblačnost 2-8 označava odgovarajući broj desetih delova oblačnosti, na primer: broj 2 znači da su 2/10 neba pokrivene, broj 3 da su 3/10 pokrivene itd. Oblačnost 10 znači da je nebo potpuno pokriveno i da ne postoji ni najmanji otvor kroz koji se vidi nebeski svod.

Za potrebe vremenske (sinoptičke) službe i medjunarodne razmene oblačnost se procenjuje i izražava u osminama (oktama) tj. celim brojevima od 0-8. U ovom slučaju 0 označava potpuno vedro a 8 potpuno pokriveno nebo.

Oblaci se beleže u dnevnik osmatranja i Mesečni izveštaj, u posebne rubrike koje sadrže porodice oblaka po visinama. Za meteorološko obezbedjenje vazdušnog saobraćaja visina oblaka se meri pomoću elektronskog uredjaja - telemetra.

Podaci o oblačnosti su veoma značajni za razna istraživanja. Oblaci utiču na mnoge procese u atmosferi, na stvaranje, trajanje i intenzitet mnogih atmosferskih pojava, na padavine i grmljavinsku aktivnost, a u prvom redu, utiču na priliv sunčeve energije, a samim tim i na toplotni režim podloge, vodene površine i vazduha.

O dnevnom ili godišnjem toku oblačnosti dosta je teško postaviti neko pravilo, a koje bi se moglo primeniti za šire područje pogotovu o nastajanju oblačnosti u toku dana prema vrstama oblaka i iznad kopna ili vodenih površina. Može se istaći da iznad kopna, u jutarnjim časovima, pri najnižoj temperaturi vazduha relativna vlažnost vazduha je dosta velika pa omogućava obrazovanje magle i niskih oblaka-stratusa. U ranim popodnevnim časovima, u najtoplijem delu dana nastaju povoljni uslovi za uzlazna kretanja vazduha, kojima se stvaraju kumulusi. Pored ovoga poznato je da su zimi pogodniji uslovi za

stvaranje oblaka u najtoplijim časovima.

Godišnji tok oblačnosti pokazuje da su zimski meseci znatno oblačniji nego letnji. Za naše područje, na teritoriji SR Srbije, minimum oblačnosti je u najtoplijim mesecima, a maksimum u jednom od zimskih meseci, a uglavnom zbog pojave stratusne oblačnosti. Postoje izvesna odstupanja za planinske krajeve, naročito planinski vrhovi mogu imati sasvim obrnuti godišnjih hod oblačnosti.

1.2.3.2. Padavine

Pod padavinama podrazumevamo sve oblike kondenzovane ili sublimovane vodene pare u vazduhu, koji se na zemljinoj površini javljaju u tečnom ili čvrstom stanju. Tako imamo padavine koje se obrazuju na zemlji, a to su: rosa, slana, inje, poledica i padavine koje se obrazuju u oblaku, kao što su: kiša, sneg, krupa, sugradica, grad, ljutina. Stručno im je ime hidrometeori (grčki: ὕδωρ -voda i μετέωρον-naviše, na visini).

Merenje padavina, kao što su slana, kristalasto i zrnasto inje, poledica i mokar sneg, spada u oblast tehničke meteorologije koja se bavi proučavanjem zaledjivanja provodnika nadzemnih vodova. Medjutim, merenje ostalih padavina, naročito kišnih veoma je značajno za oblast gradjevinske meteorologije, za potrebe hidroprojektovanja i izgradnju gradjevinskih objekata u rudarsko-energetskim basenima, i još mnogim drugim granama privrede.

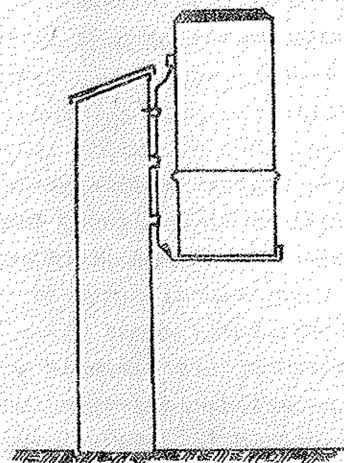
Za merenje količine padavina služe kišomeri (sl.1.29). i ombrografi (registrirni kišomeri, sl.1.30). Mera za količinu padavina pomoću kišomera je visina sloja vode koju bi na vodoravnom tlu imala voda od padavina kada od ove vode ne bi ništa oteklo, upilo se u zemlju ili isparilo.

Visina sloja vode izražava se u milimetrima i desetim delovima milimetra. Visina sloja od 1 mm na površini od 1 m^2 čini 1 litar vode. Visina snežnog pokrivača meri se visinom njegovog sloja u santimetrima na ravnoj površini. Grubo uzeto visina sveže palog običnog snega od 1 cm odgovara visini vode od približno 1 mm.

Na glavnim meteorološkim stanicama merenje količine padavina vrši se u 01,07,13 i 19 časova po SEV-u. Redovnim merenjem u 07 časova utvrdjuje se količina padavina koja je pala

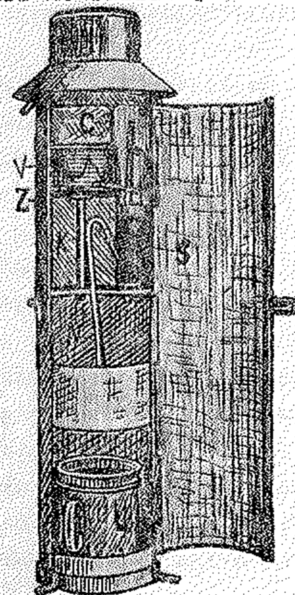
tokom proteklih 24 časa. Ove se količine beleže u Dnevnik i Mesečni izveštaj kao količina padavina za ovaj dan, kada je merenje vršeno, mada u toj količini može biti padavina od predhodnog dana ili samo od prethodnog dana.

Radi merenja padavina u planinskim krajevima gde su padavine obilnije služi naročiti brdski kišomer, koji ima iste delove, kao i obični kišomer, ali je većih dimenzija. Koristi se za prkupljanje padavina za duži razmak vremena, na primer za godinu dana ili pola godine, a postavlja se u krajevima gde nema naselja ni mogućnosti za merenje padavina običnim kišomerom.



Sl.1.29. Kišomer

Najpotpuniji instrument za merenje padavina pomoću koga se uspostavlja-ju vremena početka i svršetka padanja, kao i jačine i količine padavina služi ombrograf ili pluviograf. U nas su u upotrebi Helmanov ombrograf (sl.1.30) ili ombrograf "Hidrometeor". Ovi se ombrografi ne razlikuju znatno medjusobom.



Sl.1.30. Helmanov ombrograf: Zaštitni oklop sa otvorom na vrhu za hvatanje padavina (Z); valjkasti sud sa plovkom (S); dovodna cev; valjak sa satnim mehanizmom (v), odvodna cev (kriva natega ili sifon) (N) i lonac za prikupljanje vode (L)

Za merenje visine snežnog pokrivača u upotrebi su dve vrste snegomera: stalni i pokretni. U oba slučaja mesto na kome se meri visina snežnog pokrivača je stalno. Stalni snegomer služi za redovna osmatranja u područjima gde je padanje snega redovna pojava, a pokretni snegomer za vanredna merenja visine snežnih naslaga i za područja gde je padanje snega retka pojava.

Visina snežnog pokrivača meri se svakog dana u 07 časova po SEV-u bez obzira na vrstu snežnih padavina od kojih je nastao snežni pokrivač. Čitanje se vrši u celim santimetrima. Visina novog snega nastalog u poslednja 24 časa meri se takodje u 07 časova po SEV-u. U ovom terminu osmatranja meri se i gustina snega, odmah posle osmatranja visine snežnog pokrivača.

Za merenje gustine snega upotrebljavaju se snegomerni kantar i helmanova vadilica, a u nedostatku ovih instrumenata, može se upotrebiti i običan kišomer. Gustina snega (ρ_s) dobija se kad se težina uzorka snega (n) (broj pročitan na poluzi kantara) podeli visinom snega (h) u santimetrima, proračunatom na cilindru kantara, dakle

$$\rho_s = \frac{10^3 n}{h}, kg/m^3$$

Gustina snega (ρ_s) izvadjenog Helmanovom vadilicom se dobija pomoću ovog obrasca:

$$\rho_s = \frac{200n}{h}, kg/m^3$$

gde je n količina vode u uzorku snega izražena u milimetrima visine izmerene menzurom, a (h) visina snežnog pokrivača u santimetrima, pročitana na vadilici.

Izuzetno, gustina snega (ρ_s) se može odrediti pomoću običnog Helmanovog kišomera, a pomoću obrazca:

$$\rho_s = \frac{10^2 n}{h}, kg/m^3$$

gde je ρ_s -gustina snega izvadjena pomoću Helmanovog kišomera; n-količina vode u mm izmerena menzurom, a h-visina snežnog pokrivača odredjena pomoću pokretnog snegomera.

Podaci o gustini snega veoma su značajni za proračun težine snega na gradjevinskim objektima i konstrukcijama, posebno krovovima zgrada.

Za potrebe tehničke meteorologije takodje je važan podataka o ukupnoj sadržini vode u snežnom pokrivaču i o prosečnoj sadržini vode po 1 cm snežnog pokrivača.

Sadržina vode u snežnom pokrivaču izražava se u mm i označava visinu vode u mm koja bi se dobila ako bi se snežni pokrivač istopio.

Sadržinu vode (Ks) u snežnom pokrivaču računamo pomoću formule:

$$K_s = 10^{-2} \cdot h_s \varrho \text{, mm}$$

hs-srednja visina snega u sm izmerena pomoću stalnih ili pokretnih snegomera, ali u tri tačke na mestu za stalna merenja visine snežnog pokrivača (a ne pomoću cilindra ili vadilice), a (ϱ) je srednja gustina snega.

U slučaju kada je zemljina površina pokrivena ledenom korom, sadržina vode u ledenoj kori (K_l) se računa pomoću formule:

$$K_l = 0.8 h_l$$

h_l -srednja debljina ledene kore na zemljinoj površini u mm.

Ukupnu sadržinu vode (K) u snežnom pokrivaču računamo pomoću formule:

$$K = K_s + K_l = 10^{-2} \cdot h_s \cdot \varrho + 0.8 h_l \text{, mm}$$

Prosečnu sadržinu vode po 1 cm visine snežnog pokrivača (K_p) odredjujemo deljenjem ukupne sadržine vode u snežnom pokrivaču (K) sa srednjom visinom snežnog pokrivača (h_s).

Ako na zemljinoj površini nema ledene kore, prosečna sadržina vode po 1 cm snežnog pokrivača računa se pomoću formule:

$$K_p = K_s / h_s$$

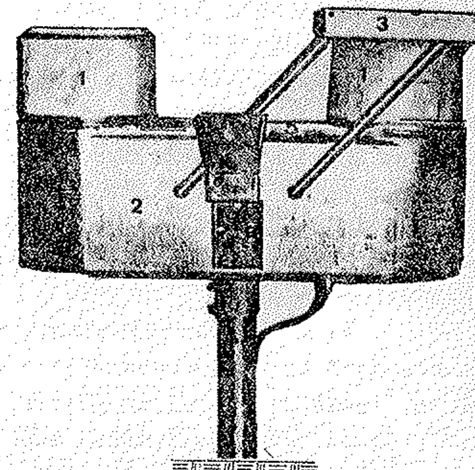
Ako je na zemljinoj površini ledena kora, prosečna sadržina vode po 1 cm snežnog pokrivača računa se pomoću formule:

$$K_p = K / h_s$$

Gustina snežnog pokrivača postaje sve veća kada se u toku vremena snežni pokrivač sleže. Veliku gustinu imaju donji slojevi debelog snežnog pokrivača, a takodje i snežni pokrivač mokrog snega. U zavisnosti od fizičko-geografskih uslova

može gustina dostići 5×10^2 kg/m³ i više.

Podaci o sadržini vode u snežnom pokrivaču veoma su složeni kod proračuna akumulacionih jezera pri projektovanju hidroelektrana, i u poljoprivredi. U zaštiti životne sredine uzimaju se uzorci kiše i snega radi utvrdjivanja njihovih hemijskih sastava i proučavanja prirode kondeznacionih jezgara. Na sl.1.31. je uredjaj za uzimranje uzoraka kiše tzv. "AAPS-Sampler".



Sl.1.31. Uredjaj za uzimanje uzoraka kiše: 1-sudovi, 2-elektronski deo i 3-automatski poklopac

Atmosferske pojave

Atmosferske pojave-meteori sastoje se iz padavina, suspendovanih ili nataloženih tečnih ili čvrstih čestica koje mogu sadržati ili ne sadržati vodu. U hidrometeore ne ubrajamo oblake. Osmatraju se na površini zemlje ili u atmosferi. Pod meteorima podrazumevamo i optičke i električne pojave u atmosferi. Prema svojoj prirodi svi meteori se dele na četiri grupe: hidrometeori, litometeori, fotometeori i elektrometeori.

Hidrometeori su proizvodi vodene pare u tečnom ili čvrstom stanju. Razlikujemo više vrsta: a) koji padaju na zemlju, kao što su kiša, sipeća kiša i sledjena sipeća kiša; b) koji lebde u atmosferi, kao što su magla i sumaglica; c) koje vetar uzdiže sa zemljine površine, kao što su mećava, vejavica, dim mora i tromba; i d) nataloženi na predmetima pri tlu ili u slobodnoj atmosferi, kao što su rosa, slana, inje, poledica i snežni pokrivač.

Litometeori se sastoje od skupa čestica koje su većina u čvrstom stanju. Suspendovane u vazduhu lebde iznad ze-

mljine površine. Vetrom ili vrtložnim strujanjem vazduha mogu biti podignute sa zemljine površine u više slojeva atmosfere. Razlikujemo litometeore koji imaju karakter suspenzija u atmosferi (suva sumaglica-čadjavina, peščana magla, dim i ostali produkti sagorevanja) i one, koji nastaju dejstvom vetra (prašinska ili peščana oluja, vihor prašine ili vihor peska).

Fotometeori su svetlosne pojave nastale refrakcijom, difrakcijom ili interfrencijom sunčeve ili mesečeve svetlosti. Opažaju se na oblacima ili unuat, oblaka (halo ili venac oko Sunca ili Meseca, irizacija i glorija) ili na hidrometeorima i litometeorima, i unutarnjih (glorija i duga). Opažaju se i u čistom vazduhu (čist vazduh, optička varka).

Elektrometeori su električne pojave u atmosferi praćene vidljivim ili čujnim manifestacijama atmosferskog elektriciteta: grmljavina, sevanje, grmljenje, vatra sv.Elma, polarna svetlost i dr.

Na meteorološkim stanicama osmotrenu atmosfersku pojavu osmatrač beleži posebnim znacima u dnevnik osmatranja i mesečni izveštaj. Tako, na primer, osmotrenu pojavu "jak pljusak" kiše uz jaku grmljavinu, malo sugradice i poneko zrno grada od 16 čas. i 25 min. do 16 čas. i 55 min" osmatrač beleži znacima: $\dot{\nabla}^2$ ⌈< Δ°A 1625-1655". Osmotrenu pojavu "Gusta magla" predmeti se ne vide na 200 m", osmatrač beleži znacima $\equiv^2$. Ako je osmotrena pojava "jaka grmljavina prešla preko stanice dolazeći od jugozapada, a otišla u pravcu severoistoka; prvi put se čulo grmljenje u 11 čas i 24 min. poslednji put u 13čas i 20 min a najjače se čulo u 12 čas i 15 min; u 12 čas i 13 min udario grom u susedni objekat", osmatrač beleži znacima: ⌈<^{2} SW-NE 1124-121/4-1320; 1213 grom udario i gradjevinski objekat.

Elementarne nepogode katastrofalnih razmera spadaju takodje u atmosferske pojave. Podatke o ovim pojavama osmatrači na meteorološkim stanicama dostavljaju nadležnoj službi u Zavodu istog dana, naglašavajući naročito o štetama koje su tim prouzrokovane.

Redovno se sa atmosferskim pojavama osmatra i stanje tla. Pod uticajem atmosferskih pojava, nastaju promene stanja tla.

Atmosferske pojave, kao što su slana, poledica, zrnasto inje, mokar sneg i smrznuta naslaga mokrog snega osmatraju

se na uredjaju za osmatranje i merenje zaledjivanja, pa su predmet proučavanja posebne discipline tehničke meteorologije koja se razmatra u delu o zaledjivanju provodnika nadzemnih vodova. Isto tako, električne pojave u atmosferi, kao što su grmljavine sevanje i grom razmatraju se u delu o brojačima atmosferskih električnih pražnjenja.

Sve atmosferske pojave više manje utiču na razvoj raznih privrednih delatnosti. Izdvojiti one koje su najznačajnije za proučavanje i koje najviše utiču vrlo je teško. Osim pomenutih padavina, izgleda da preovladjuju uticaji atmosferske pojave magle. Naročito je veliki uticaj magle na autombilski i avionski saobraćaj, na zagadjenost vazduha; na rad kod površinskih kopova i dr. rudarskih delatnosti; zatim, u radio-difuziji, na rasipanje UK-radio talasa; na radarska osmatranja, i dr. Zbog toga se posebna pažnja posvećuje pojavi magle.

1.2.4.1. Magla

Magla je skup vrlo sitnih vodenih kapljica ili pomešanih vodenih kapljica i ledenih iglica koje lebde iznad zemljine površine smanjujući horizontalnu vidljivost ispod jednog kilometra. Kada se posmatra kao celina izgleda beličasta. Medjutim, ne uvek, naročito u velikim gradovima i industrijskim područjima kada zbog prisustva dima i čestica prašine ima prljavo žutu ili sivkastu boju.

Gustinu ili intenzitet magle ocenjujemo prema horizontalnoj vidljivosti. Ako je horizontalna vidljivost 50 do 500m magla je umerene gustine; ako je horizontalna vidljivost ispod 50 m magla je velike gustine ili jakog intenziteta.

U zavisnosti od temperature vazduha magla se može sastojati od vodenih kapljica ili ledenih kristala, ili istovremeno oboje. Na pozitivnoj temperaturi vazduha sastoji se od vodenih kapljica koje imaju prečnik od 2 do 5 µm a ako je temperatura vazduha negativna iz prehladjenih vodenih kapljica ili ledenih kristala.

Magla se javlja u prizemnom sloju vazduha kad napon vodene pare u vazduhu postane veći od napona zasićenog vazduha. Ona se može stvoriti i u uslovima kada je relativna vlažnost vazduha manja od 100%, odnosno, kada napon vodene pare još nije

dostigao napon zasićenosti. Ovo su specifični uslovi stvaranja magli i najčešće se javljaju u lokalitetima poznatim sa velikom koncentracijom zagadjenog vazduha, kao što su industrijske zone ili područja velikih gradova. U zagadjenom vazduhu nalaze se brojna aktivna jezgra kondenzacije.

Magla u velikoj meri smanjuje noćno hladjenje. Naime, hladjenje zasićenog vazduha, osim pri niskim temperaturama, znatno je manje nego nezasićenog pri jednakom odvodjenju toplote. Koliko je hladjenje zasićenog vazduha, pri konstantnom ili približno konstantnom pritisku, na primer, u vedrim noćima u lokalitetu gde se nalazi magla, može se izvesti iz jednačine za dovodenu toplotu stabilno zasićenom vazduhu:

$$dQ_n = mCp_w dT - KVdp$$

Cpw je specifična toplota zasićenog vazduha od koje zavisi takvo hladjenje. Ona je na višim temperaturama dva, tri puta veća nego specifična toplota nezasićenog vazduha (C_p).

Magle se po svome postanku dele na one koje nastaju hladjenjem vazduha i one koje nastaju dovodjenjem vodene pare prirodnim procesima, ali i na one stvorene čovekovom aktivnošću.

Magle koje nastaju zbog hladjenja obrazuju se kad temperatura vazduha opadne ispod tačke rose. Hladjenje može da bude zbog radijacije zemljine površine ili premeštanja (advekcije) toplotnog vazduha na rashladjenu zemljinu površinu, ili usled uzlaznog kretanja vazdušne mase uz padinu planine, brda ili uzvišenja. Prema ovome, ove se dele na radijacione, advektivne i padinske (privetrinske).

Radijacione magle nastaju hladjenjem najnižih prizemnih slojeva koji dodiruju rashladjenju zemljinu površinu. Hladjenje se postepeno prenosi i na više slojeve. Da bi se obrazovala ova vrsta magle u prizemnom sloju mora biti visoka relativna vlažnost vazduha. Magla se neće obrazovati ukoliko vazduh nije zasićen, bez obzira na dalje hladjenje. Zemljina površina se najviše rashladi pri vedrom nebu u toku noći, a od nje i vazduh u prizemnom sloju. Ako je pri ovome i vetar slab, nastaju najpogodniji uslovi za obrazovanje vrlo guste radijacione magle. Usled jakog vetra povećavaju se trubulencija i mešanje vazduha u prizemnom sloju, a usporava se hladjenje vazduha. Magla se

može obrazovati i pri jakom vetru, ali u vrlo retkim slučajevima i to onda, kad specifična vlažnost vazduha raste sa visinom. Porast specifične vlažnosti sa visinom nastaje uglavnom zbog pojačane turbulentnosti koja prenosi vodenu paru odozdo nagore, gde se obrazuje magla.

Gustina radijacione magle u vertikalnom pravcu zavisi od ohladjenosti vazduha. Ako se ovaj ohladio ispod tačke rose nastaće magla u prizemnom sloju praćena inverzijom. Ispod inverzije je stabilan vazduh, pa nema prenosa vazdušnih čestica iz nižih u više slojeve, niti toplote ili vodene pare. U ovakvim uslovima prizemni sloj se sve više hladi. Stvorena radijaciona magla može biti visoka do 100 m, a ponekad se javlja u vrlo tankom sloju vrlo blizu tla, do visine 2 m. Ovakva magla prostire se na malom području u vidu rasturenih grupa. Na njeno stvaranje najčešće utiču lokalni uslovi, kao što su ravnice pokrivene gustom vegetacijom. Magla se tada zadržava u ravnici dok su okolna brda ili uzvišenja bez magle.

Interesantno je da se radijacione magle mogu opaziti posle kiše kad nastupi razvedravanje i hladjenje podloge. Zbog toga su ove magle intenzivnije u toku noći nego danju. Medjutim, ako se radijaciona magla stvorila iznad jezera vrlo je slabe gustine i brzo isčezava s obzirom na sporije hladjenje vode nego kopna. Zbog toga su radijacione magle iznad vode vrlo retke ili ih uopšte nema.

Radijacione magle se najčešće javljaju u jesen ili zimi kada se više dana zadržava anticiklonano stanje vremena, a sa ovim i višednevno hladjenje zemljine površine. Javljaju se u večernjim časovima, noću i ujutru. Vrlo retko u podne i u popodnevnim časovima. U zimskim mesecima su najviše i mogu dostići visinu, odnosno debljinu, čak i nekoliko stotina metara. Pošto su praćene inverzijom dostižu do visine baze podignute inverzije. Radijacione magle mogu započeti i od ove baze podignute inverzije spuštajući se prema zemlji. Ispod baze inverzije sakuplja se vodena para i sa njom različiti pridodaci atmosfere koji stižu iz različitih izvora zagadjenosti vazduha, a koji čine pogodna jezgra kondenzacije. U početku se obrazuje podinverzioni sloj koji se kasnije proširuje prema zemlji na kojoj prelazi u maglu. Ova vrsta radijacione magle može pokriti veći deo područja i trajati više dana. Naročito su guste u toku

noći.

Postanak advektivnih magli u vezi je sa premeštanjem, advekcijom tople vazdušne mase na hladniju zemljinu površinu. Javljaju se najčešće u zimskim mesecima, a gustina im se povećava sa visinom. Mogu se prostirati od zemlje sve do visine od više stotina metara. Ponekad se opažaju i u toplijim mesecima, ali samo iznad većih vodenih površina, kada topliji vazduh sa kopna prelazi preko njih. Nastala magla iznad vode može se,zbog promene pravca vetra, preneti i na obalu.

Advektivne magle nastaju u bilo koje doba dana, i održavaju se i pri jakom vetru.

Padinske ili privetrinske magle,kako im i ime kaže, javljaju se na privetrinskim padinama planina, brda ili uzvišenja usled adijabatskog hladjenja vazduha koji se uzlazno penje uz padinu. Samo pri laganom dizanju vazduha uz padinu obrazovaće se magla. Burniji procesi neće dozvoliti obrazovanje magle, već doprinose stvaranju kumulusne oblačnosti.

Magle nastale dovodjenjem vodene pare obrazuju se usled isparavanja sa većih vodenih površina ili mešanjem vazdušnih masa sa različitim fizičkim osobinama.

Magle "isparavanja", kako se prve nazivaju,obrazovaće se tek kad temperatura vode postane viša od temperature vazduha, kondenzacijom vodene pare koja prelazi iz vode u sloj vazduha koji je u neposrednom dodiru sa vodenom površinom. Isparavanje vode, pri stvaranju ove vrste magle, nastaviće se iako je relativna vlažnost vazduha postala veća od 100%. Najčešće se javljaju u jesen pri slabom mrazu kada se rashladjeni vazduh sa obale lagano premešta na topliju vodenu površinu reke ili jezera. Ova vrsta magle nije gusta ni visoka, najčešće je u sloju do 2 m. Osim na rekama i jezerima kada se javlja i na većim terenima blatom pokrivenim ili na močvarama, ali samo u toku dana kada temperatura ovakve podloge postane viša od temperature vazduha. Iščezavaju noću zbog hladjenja podloge. Ako se nastavi haldjenje podloge, umesto ove vrste magle može se obrazovati radijaciona magla.

U posebnu vrstu magli koje nastaju isparavanjem spadaju frontalne magle. Javljaju se pri prodoru toplog fronta sa kojim se premeštaju. Nastaju isparavanjem padavina na frontu

ili zbog pada pritiska ispred fronta i adijabatskog hladjenja vazduha. Mogu nastati i zbog mešanja toplijeg i hladnijeg vazduha na graničnoj površini fronta ili na obali, koja tada predstavlja graničnu površinu izmedju vazduha iznad kopna i vode. Da bi se ova vrsta magle obrazovala, moraju postojati velike razlike u temperaturi toplog i hladnog vazduha, napon vodene pare blizu zasićenosti, a vreme tiho, bez vetra.

O maglama koje nastaju čovekovom aktivnošću, a to su magle koje se javljaju u industrijskim oblastima i područjima velikih gradova, tehnička meteorologija posvećuje posebnu pažnju. Grana tehničke meteorologije koja se bavi istraživanjima o zagadjenosti vazduha ispituje fizičke i hemijske osobine ove vrste magli.

Gradske i industrijske magle, kako se nazivaju magle nastale čovekovom aktivnošću, posledica su velike čestične zagadjenosti vazduha. Brojna ložišta i dimnjaci fabrika, toplana, termoelektrana i dr. izvora zagadjenosti, neprekidno ubacuju u atmosferu čestice raznih pridodataka. U prizemnom sloju atmosfere ove čestice postaju kondenzaciona jezgra. Zbog veoma velikog broja čestica u prizemnom sloju atmosfere magla se može obrazovati i pri relativnoj vlažnosti znatno manjoj od 100%,ponekad samo 75%.

Gradske i industrijske magle najčešće se javljaju u jutarnjim časovima, kada je napon vodene pare blizu zasićenosti.Zbog prisustva raznih gasova i dima u vazduhu ove magle imaju karakterističnu tamno-sivu ili sivo-žućkastu boju. Njihova gustina zavisi od prehladjenosti čestičnih priododataka. Najintenzivnije se javljaju u toku zimskog perioda. U uporedjenju sa maglama koje se javljaju izvan urbanih i industrijskih područja ove magle imaju znatno veću čestinu javljanja u toku godine. U pojedinim karakterističnim stanjima atmosfere, naročito pri inverzijama, pomešana sa gasovima iz automobila i ložišta (sumpordioksidom, supromonoksidom, azotnim oksidima i dr. gasovima i čestičnim materijama), postaju veoma opasne za životnu sredinu (sl.1.32). Za smešu ove vrste magle, dima i gasova upotrebljava se naziv "smog" nastao od engelskih reči magla i dim. Za razliku od tzv. "suvog smoga" ili "los andjeleskog", koji nastaje fotohemijski pri vedrom sunčanom vremenu, ovaj "vlažni smog" ili "londonski" najčešće se javlja zimi pri temperaturi



Sl.1.32. Magla nastala čovekovom aktivnošću u industrijskom lokalitetu

vazduha oko nule. Obično počinje da se obrazuje u jutarnjim časovima kada se javlja prizemna inverzija. Sa porastom temperature vazduha u toku dana, vlažni smog slabi ili potpuno iščezava, ali se ponovo javlja u večernjim čaasovima i što je bliže ponoći postaje sve gušći. Može se javljati više dana uzstopno, ali vrlo retko nastaje u popodnevnim časovima, pri maloj relativnoj vlažnosti vazduha. Čestina javljanja ove vrste magle u toku godine dosta je promenljiva i uglavnom zavisi od fizičko-geografskih uslova u kojima se nalazi grad ili industrijsko područje.

Gradske i industrijske magle veoma su opasne za životnu sredinu, naročito smog. Koliko može biti opasan smog neka nas podsete katastrofe koje su dovele do brojnih žrtava. Otrovan , toksični smog, koji se obrazovao u dolini Maas, u Belgiji, decembra 1972. izazvao je brojna trovanja od kojih je umrlo preko 60 , a stradalo više od 2000 osoba. U Danaru, u SAD decembra 1948. godine, zbog toksičnog smoga umrlo je više od 20, a stradalo oko 2000 osoba. U Londodnu je u periodu od

1952. do 1962. stradalo više od 8000, a samo u 1952. je umrlo 3900 osoba usled velikih koncentracija štetnih materija u gradskoj magli. Mnoge gradove pogadja slična situacija kao u Londonu. U Osaki je u decembru 1962. umrlo više do 60 osoba zbog toksičnog dejstva smoga. Da bi se zaštitila lica koja su primorana da se duže vreme zadržavaju na ulicama za vreme smoga, u Tokiju se upotrebaljavaju specijalni uredjaji sa kiseonikom.

Ugroženost zdravlja gradjana u velikim gradovima usled toksičnog dejstva smoga postaje veliki problem. Uzrok je naglom smanjenju stanovništa u centralnim delovima gradova. Deo imućnijeg stanovništva u gradovima Zapadne Evrope seli se u prigradska naselja gradove-satelite, kasnije nazvanim "spavaonice" zbog nedostatka društveno-kulturnih i pratećih objekata.

U cilju uspešnije borbe protiv gradskog smoga tehnička meteorologija izradjuje meteorološke podloge koje čine sastavne delove urbanističkog razvojnog plana grada. Podloge sadrže studije o meteorološko-klimatološkim istraživačkim radovima sa preporukama o lokacijama industrijskih objekata i najpovoljnijim rešenjima saobraćaja i saobraćajnica sa meteorološkog aspekta. Predloge o urbanističkom planiranju kvaliteta vazduha u cilju zaštite od rušilačkog dejstva smoga na umetničke slike i vajarska dela u galerijama i muzejima, na mermerne spomenike u parkovima i trgovinama grada, itd.

Treba istaći da su sve vrste magli veoma opasne,kako po zdravlje, tako i za vazduhoplovni, automobilski, pomorski i rečni saobraćaj; magla može odlučiti o bitkama. Ona je jedino korisna biljkama jer ih štiti od jakog mraza.

Obavijen maglom na padinama planinskog klanca nedaleko od Kortone u Perusiji Hanibal je 217. godine iznenadio i potpukao rimske legionare, a zatim pokorio celu Severnu Italiju.

Zbog magle, koja se obrazovala 7. decembra 1974. na autoputu Majnc-Binger, dogodio se strahovit lančani sudar 140 automobila i pri tome stradalo 28 ljudi. Prema podacima o saobraćajnim nesrećama koje su se dogodile u SR Nemačkoj, prosečno se godišnje dogodi 1500 saobraćajnih nesreća zbog magle.

I u našoj zemlji beležimo tešku saobraćajnu nesreću

koja se dogodila zbog magle. Nedaleko od Zagreba na deonici auto-puta kod Ivanje Reke obrazovala se gusta magla u ranim jutarnjim časovima, 30. avgusta 1980. Usled vidljivosti manje od 50 m nastao je lančani sudar. Jedan na drugi naletelo je 45 automobila i pri tome je poginulo šest lica, a lakše i teže ozledjeno više desetina ljudi.

Da bi se izbegle ovakve nesreće u automobilskom saobraćaju u mnogim zemljama je ozakonjeno propisima da svaki projekat o izgradnji autoputa mora sadržati meteorološku podlogu sa posebnim osvrtom na podatke o maglama.

U istoriji pomorskog saobraćaja zabeleženo je mnogo udesa i havarija brodova zbog magle. Poznata je havarija putničkog broda "Šiler" u kojoj je izgubilo živote više od 300 putnika.

Mada su danas za plovidbu rečni i prekookeanski brodovi snabdeveni radarima i drugim elektronskim uredjajima, prema podacima Holcaha (M.Holzach, 1976) svaku teću pomorsku nesreću treba pripisivati magli.

Zbog magle, izgleda, najviše strada vazduhoplovstvo. Svaki je aerodrom, iako opremljen savremenim elektronskim uredjajima za navigaciju i automatsko upravljanje, zbog magle zatvoren za avionski saobraćaj. Nijedan avion ne može poleteti dok je nad aerodromom prizemna magla sa vidljivošću manjom od 400 m. U ovakvim danima avionske kompanije imaju veoma velike gubitke. Jedan dan sa prizemnom jakom maglom košta franktfurski aerodrom preko milion maraka. Avionska kompanija "Lufthanza" morala je zbog magle da otkaže 92 leta u toku dana, i tako da izgubi preko pola miliona maraka. Prema podacima Holcaha (1976) američke avio-kompanije gubile su zbog magle prosečno godišnje preko 200.000 dolara.

Svakako da su žrtve u nesrećama vazduhoplovstva zbog magli daleko veće nego pomenuti finanijski gubitci. Zato se u vazduhoplovstvu i kaže da je magla "neprijatelj broj 1".

1.2.5. Vertikalni gradijent temperature, potencijalna temperatura i inverzija

Često se u tehničkoj meteorologiji koriste podaci o vertikalnom gradijentu temperature vazduha, potencijalnoj temperaturi i o čestinama javljanja, debljini i intenzitetu inverzija. Ovi podaci imaju veću primenu pri utvrdjivanju prostorne raspodele zagadjenosti vazduha, izboru visine dimnjaka, kod projektovanja raznih energetskih objekata i uopšte, u fizici prizemnog sloja kada se ispituju profili temperature i vlažnosti vazduha.

Pod vertikalnim gradijentom temperature vazduha (γ) podrazumevamo promenu temperature vazduha sa visinom na jedinici puta. Obično se uzima da je ta jedinica puta 100 m i računamo pomoću formule:

$$\gamma = -\frac{\Delta T}{\Delta Z} \qquad \gamma = -\Delta t \,°C / 100 m$$

Δt je razlika temperature izmerene na gornjem nivou sloja (t_g) koji je na visini (Z_g), i na donjem nivou sloja (t_d) koji je na visini (Z_d). Vertikalni gradijent možemo prikazati i ovom razlikom:

$$\gamma = \frac{t_d - t_g}{h_g - h_d}$$

Visine gornjeg (h_g) i donjeg (h_d) nivoa su u metrima.

Vertikalni gradijent je pozitivan ako temperatura vazduha opada sa visinom, a negativan kad raste; ukoliko nema promene temperature sa visinom gradijent je jednak nuli. Postoje dnevne i godišnje promene vertikalnog gradijenta. Prostorno i vremenski one su najveće u prizemnom sloju, sloju trenja. Na ove promene mogu uticati i fizičko-geografski uslovi. Srednja dnevna promena u troposferi je oko 0.6°C/100 m.

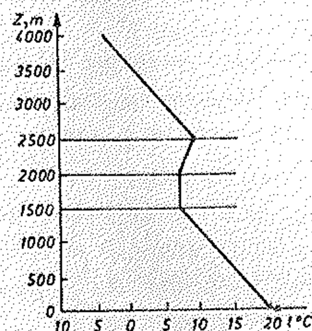
Sa poznatim vertikalnim gradijentom temperature možemo lako izračunati temperaturu vazduha na ma kojoj visini (t_z) prema formuli:

$$t_z = t_o - \gamma z$$

t_o je temperatura vazduha na početnom nivou sloja; z je visina u metrima.

Raspodelu temperature sa visinom prikazujemo tzv. "krivom stratifikacije" (sl.1.33).

Procesi u atmosferi su vrlo bliski adijabatskim. Promene temperature i pritiska u nekoj čestici vazduha vrši se bez razmene toplote sa okolnom sredinom. Čestica vazduha koja se kreće nagore stiže u sloj atmosfere gde je pritisak manji. Ovde se čestica širi, a rad na povećanju zapremine učinjen je na račun unutrašnje energije čestice. Zbog ovoga je temperatura čestice opala. Medjutim, pri spuštanju čestica stiže u sloj atmosfere gde je pritisak veći, pa se čestica sabija. Rad spoljašnjih sila na sabijanju opaža se porastom njene temperature.



Sl.1.33. Kriva stratifikacija

U atmosferi nema potpuno adijabatskih procesa, naročito u najnižem sloju, i to uglavnom zbog razmene toplote sa podlogom ili zbog delimičnog mešanja perfernih delova čestica vazduha sa okolnom sredinom kada se ova kreće u slobodnoj atmosferi.

Kretanje vazduha nagore tzv. uzlazno kretanje nastaje usled termičke konvekcije ili prinudnog kretanja vazduha uz frontalnu površinu, padinu planine, brda ili úzvišenja.

Silazno kretanje čestica vazduha u slobodnoj atmosferi ili niz padine uglavnom je uslovljeno lokalnom cirkulacijom vazduha. Pomenuta kretanja u atmosferi, silazno i uzlazno strujanje, imaju svoje karakteristične osobine, a igraju veoma važnu ulogu u razvoju vrlo različitih i brojnih procesa u prizemnom sloju atmosfere.

Adijabatske procese u suvom i vlažnom, ali nezasićenom vazduhu, nazivamo suvoadijabatskim. Odnose temperature i pritiska na kraju i početku ovih procesa iskazujemo Poasanovom jednačinom:

$$T/T_o = (p/p_o)^{0.288}$$

T_o i p_o-su temperatura i piritisak na početku, a T i p-na kraju suvoadijabatskog procesa.

Promenu temperature suvog ili vlažnog, ali nezasićenog vazduha, koji se diže vertikalno u vis, nazivamo suvoadijatabskim vertikalnim gradijentom (γ_a). Ovaj gradijent nam pokazuje za koliko će se smanjiti temperatura vazduha na jedinicu

odstojanja. Naime, u mirnoj atmosferi gustina vazduha, na nekoj većoj visini (z + dz) u odnosu na visinu (z), promeniće se za

$$d\rho = -\rho/T(\gamma_a - \gamma)dz$$

Ovde je suvodijabatski vertikalni gradijent označen sa:

$$\gamma_a = g/R$$

Ako uzmemo u obzir vrednosti za silu zemljine teže (g) i za individualnu gasnu konstantu (R) dobijamo za =3.4°C/100m. Medjutim, u atmosferi temperatura obično ne opada brže sa visinom nego jedan stepen na 100 m. To znači ukoliko se čestica suvog ili vlažnog, ali nezasićenog vazduha kreće vertikalno nagore njegova temperatura će opasti za:

$$\gamma_a = -\frac{\Delta T}{\Delta Z} = 1°C/100m$$

T je promena temperature vazduha sa visinom Z. Znak minus označava da temperatura opada sa visinom.

Prema izloženom, ako znamo temperaturu čestice vazduha koja se nalazi na početnom nivou (t_o) možemo izračunati njenu temperaturu na bilo kojoj visini (t_z) pomoću formule:

$$t_z = t_o - \gamma_a z$$

visina z je u metrima.

Temperatura čestice vazduha koja se adijabatski diže može se znatno promeniti samo zbog promene pritiska. Neka se čestica vazduha koja ima temperaturu 15°C, podigne adijabatski na visinu 500 m njena će temperatura opasti za 5°, odnosno imaće temperaturu 10°C. Ovaj nagli pad temperature nije nastao zato što je čestica vazduha odala toplotu okolnoj atmosferi, već zbog utroška rada čestice na povećanje njene zapremine. Obrnuti slučaj je kod spuštanja čestice na njen početni nivo, na kome će ona ponovo imati temperaturu 15°. Iz ovog primera lako je uočiti da se pomenutom temperaturom vazduha iskazuje samo "toplotno stanje" čestice vazduha, odnosno njena unutrašnja energija koja je u vezi sa toplotnim kretanjem molekula, a ne i njena energija koja je u vezi sa promenom pritiska. Toplotnim stanjem se ne mogu proceniti ni energija koju čestica vazduha utroši na povećanje njene zapremine pri kretanju čestice nagore, niti energija dobijena pri radu spoljašnjih sila na sabijanju čestice kada se ova spušta nadole. Ovde procesi ostaju adijabatski. Da bi se energije čestice, koja se može naći na

različitim visinama, mogle uporediti uvodi se nov parametar temperature vazduha pod nazivom potencijalna temperatura. Ona označava temperaturu koju će imati čestica vazduha ako je adijabatski dovedemo sa mesta ge je temperatura T i pritisak p na nivo na kome je pritisak 1000 mbara. Izračunavamo pomoću Poasanove formule, zamenjujući p sa 1000 mbara, a T sa potencijalnom temperaturom (θ), tako da dobijamo:

$$\theta = T\left(\frac{1000}{P}\right)^{0.288}$$

Potencijalnu temperaturu (θ_z) na visini z računamo prema sledećoj formuli:

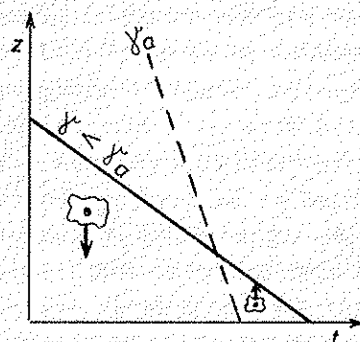
$$\theta_z = T_z + \gamma_a z$$

T_z je temperatura vazduha na visini z; za pritisak na nivou mora uzima se vrednost 1000 mbara.

Pošto se potencijalna temperatura ne menja pri suvoadijabatskim, procesima ona se najčešće koristi za odredjivanje karakterističnih osobina vazdušnih masa i za analizu atmosferskih procesa.

Za karakterističnu raspodelu temperature vazduha sa visinom u nekom sloju atmosfere upotrebljava se izraz: termička stratifikacija. U zavisnosti od termičke stratifikacije sloj atmosfere može biti stabilan, indiferentan ili labilan.

Posmatrajmo sloj atmosfere gde je vertikalni gradijent (γ) manji od adijabatskog (γ_a). Kada se u ovakvom sloju atmosfere tzv. podadijabatskom ($\gamma < \gamma_a$), bilo koji vazdušni delić sa svog mesta, gde je imao jednaku temperaturu kao okolni vazduh, adijabatski popne na veću visinu imaće temperaturu koja je manja od temperature okolnog vazduha (sl.1.34). Prilikom penjanja se vazdušni delić hladi suvoadijabatski (1°C/100m) dok se istovremeno u okolnoj atmosferi, gde je $\gamma < \gamma_a$,temperatura sporije smanjuje sa visinom. Prema tome, podignuti vazdušni delić je hladniji,a time gušći i specifično teži od okolnog vazduha,pa teži da se vrati na provobitnu visinu gde bi,kao u početku,imao temperaturu

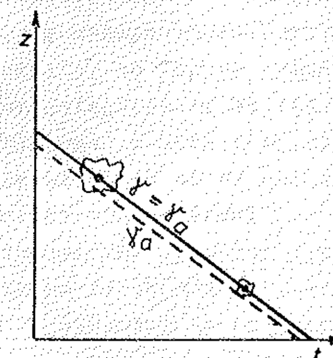


Sl.1.34. Stabilni sloj atmosfere

jednaku okolnom vazduhu. Kako je zbog ove osobine, svaki vazdušni delić u stabilnom ravnotežnom stanju zovemo ovakav sloj atmosfere stabilnim.

U adijabatskoj suvoj ili nezasićenoj atmosferi, gde je suvoadijabatski gradijent jednak adijabatskom ($\gamma = \gamma_a$) svaki vazdušni delić je u indiferentnom razvnotežnom stanju. Prilikom adijabatskog menjanja visine temperatura i gustina vazdušnih delića su uvek jednaki temperaturi i gustini okolnog vazduha. Svaki delić vazduha u ovom sloju atmosfere je uvek u statičkoj ravnoteži i ne teži da promeni svoj položaj. Ovakvo ravnotežno stanje sloja atmosfere se zove indiferentno (sl.1.35).

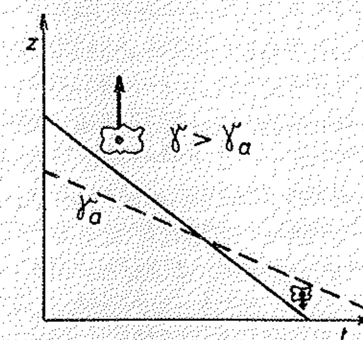
U nadadijabatskom sloju atmosfere gde je suvoadijabatski gradijent manji od gradijenta atmosfere ($\gamma > \gamma_a$), svaki delić vazduha je u labilnom ravnotežnom stanju. Ako u ovakvom sloju atmosfere bilo kom vazdušnom deliću povećamo visinu na novoj visini biće topliji od okolnog vazduha.



Sl.1.35. Indiferentni sloj atmosfere

Time je specifično lakši i teži da se još više udalji od svog prvobitnog položaja (sl.1.36).

Opisani procesi u atmosferi mogu se prikazati i na opštiji način. Neka je temperatura suvog ili nezasićenog vazduha na zemljinoj površini t_o, a vertikalni gradijent u prizemnom najnižem sloju atmosfere (γ) tada će temperatura vazduha na visini z biti: $t_z = t_o - \gamma Z$. Ako se unutar ovog sloja podigne vazdušni delić vazduha do iste visine z, njegova temperatura biće $t'_z = t_o - \gamma_a Z$. Prema tome, razlika temperature vazdušnog delića i okolnog vazduha iznosi:



Sl.1.36. Labilni sloj atmosfere

$$t_z - t'_z = (\gamma_a - \gamma) z$$

Iz jednačine je lako uočiti, da ukoliko je $\gamma < \gamma_a$ tada je $t_z - t'_z > 0$, a $t'_z < t_z$ tj. podignuti delić vazduha je hladniji od okolnog vazduha. To je suvostabilno stanje. Ako je $\gamma = \gamma_a$ tada je $t_z = t'_z$, a to je indiferentno stanje atmosfere. Medjutim, ako je $\gamma > \gamma_a$ tada je $t'_z > t_z$, podignuti delić vazduha je topliji od okolnog vazduha i to je suvonestabilno stanje atmosfere.

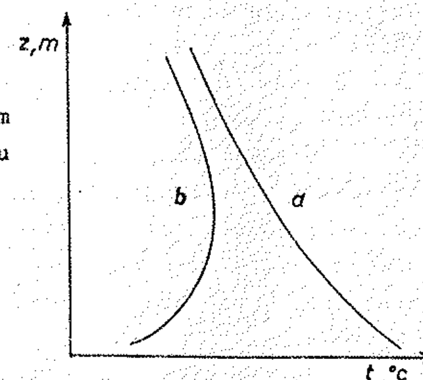
O karakteristikama ravnotežnog stanja atmosfere u odnosu na vertikalno kretanje suvog ili nezasićenog vazduha, treba govoriti i na osnovu promene potencijalne temperature, jer ova upravo zavisi od veličine vertikalnog gradijenta temperature. Ako se potencijalna temperatura povećava sa visinom, atmosfera je stabilna, ako opada sa visinom onda je suvonestabilna, a ako se ne menja sa visinom atmosfera je indiferentna.

Termička stratifikacije je do sada prikazana pravom linijom, odnosno, vertikalni gradijent je uvek bio konstantan. Medjutim, u atmosferi se vertikalni gradijent menja od sloja do sloja, pa se termička stratifikacija ne može prikazati pravom, već krivom linijom, odavde je i naziv kriva stratifikacije.

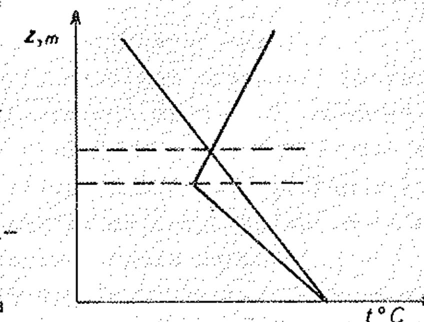
Povećanje temperature sa visinom, koje se u meteorologiji zove inverzija, preokret ili obrt temperature, najčešća je pojava u prizemnom sloju u toku noćnih časova, naročito zimi. Osobito su povoljni uslovi ako je zemljište pokriveno snegom, ako su kotline i doline vrlo duboke i sa svih strana zatvorene, ako je vazdušni pritisak visok, nebo vedro i ako vlada tišina, bez vetra. Pod uticajem radijacije rashladjene i specifično teže mase vazduha klize niz padine i skupljaju se u dolinama i kotlinama; u ravnicama, vazduh, koji neposredno dodiruje zemljinu površinu, sve se više i više hladi usled izračivanja. Svaki viši sloj je lakši i topliji, sve do granice do koje počinje normalno opadanje temperature sa visinom. Na sl.1.37. su promene temperature sa visinom u toku dana i noći.

Sloj inverzije ima najstabilniju stratifikaciju i čini prepreku uzlaznom kretanju, pa se inverzije nazivaju i za-

Sl.1.37. Raspodela temperature sa visinom u prizemnom sloju danju (a) i noću (b)



državajućim slojem. Na sl.1.38. je sloj vazduha sa vertikalnim gradijentom temperature manjim od suvoadijabatskog ($\gamma < \gamma_a$). Delić vazduha dolazi u sloj gde je vertikalni gradijent vrlo mali ili negativan, pa uskoro postaje hladniji od okolnog vazduha, i kao gušći i teži pada nadole.



Sl.1.38. Zadržavajući ili blokirajući sloj inverzije

Svaka inverzija je odredjena visinom donje granice (baze) iznad zemljine površine, debljinom sloja ili razlikom visine gornje i donje granice inverzionog sloja i intenzitetom. Pod ovom poslednjom karakteristikom podrazumeva se razlika u temperaturi izmedju njene gornje i donje granice i uzima se da je inverzija tim većeg intenziteta što je veći negativni vertikalni gradijent temperature vazduha.

Prema visini svoje donje granice inverzije se dele na prizemne i visinske ili pridignute. Dalja njihova podela se zasniva na uzrocima postanka. Tako se prizemne inverzije dele na radijacione i advektivne, a visinske ili pridignute na inverzije turbulentnosti, frontalne, inverzije spuštanja i dinamičke inverzije.

Radijacione inverzije nastaju usled hladjenja prizemnog sloja atmosfere koji je u neposrednom dodiru sa površinom

podloge, koja se hladi izračivanjem. Prema tome, temperatura sa visinom raste, i što su slojevi na većoj visini temperatura vazduha je viša. Najčešće se ovakve inverzije javljaju u toku letnjih noći i zimi.

U toku letnjih noći radijacione inverzije počinju se obrazovati u večernjim časovima, posle zalaska Sunca. Pojačavaju se ka ponoći, ali dostižu maksimalnu jačinu i debljinu u ranim jutarnjim časovima pred izlazak Sunca. Inverzije se rasturaju odmah po izlasku Sunca zbog zagrevanja podloge i pojave konvekcije.

Jačina noćnih inverzija zavisi od trajanja hladjenja vazduha pri tlu i od intenziteta turublentnosti u prizemnom sloju. Razvoju noćnih inverzija, dakle, pogoduju vedro nebo i slab vetar.

Zimske inverzije se najčešće javljaju u periodu višednevnog hladjenja zemljine površine kada je anticiklonalni tip vremena. Tada mogu trajati više nedelja, ali su nešto slabije danju nego noću. Debljina u toku noći može iznositi i više stotina metara. U našim krajevima debljina radijacionih inverzija se menja od nekoliko metara do 400-500 metara.

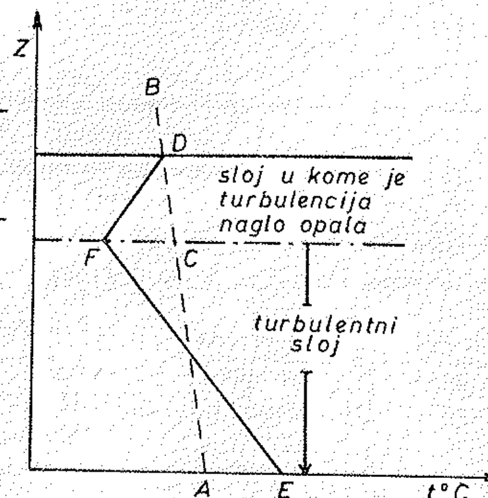
Značajnu ulogu u stvaranju prizemnih inverzija imaju orografski uslovi. U planinskim dolinama i kotlinama ove inverzije su mnogo češće, dugotrajnije i intenzivnije nego u ostalim geografskim lokalitetima.

Advektivne inverzije nastaju kod advekcije, premeštanja toplog vazduha na hladniju zemljinu površinu. U advektivne inverzije ubrajamo i tzv. prolećne (ili snežne) inverzije, koje nastaju advekcijom vazdušne mase sa temperaturom iznad 0° a preko površine pokrivene snegom. Najniži sloj ove vazdušne mase troši veliku količinu toplote na topljenje snega, pa njegova temperatura opada do 0°C. Iznad ovog sloja temperatura je uvek veća od 0°C.

Visinske inverzije se dele na inverzije turublentnosti, dinamičke inverzije, inverzije spuštanja i frontalne inverzije.

Prelazna vrsta od prizemnih ka visinskim inverzijama su inverzije turbulentnosti. Ove najčešće nastaju na visinama od nekoliko stotina metara iznad zemljine površine, odmah iznad sloja trenja ili prizemnog najnižeg sloja atmosfere.

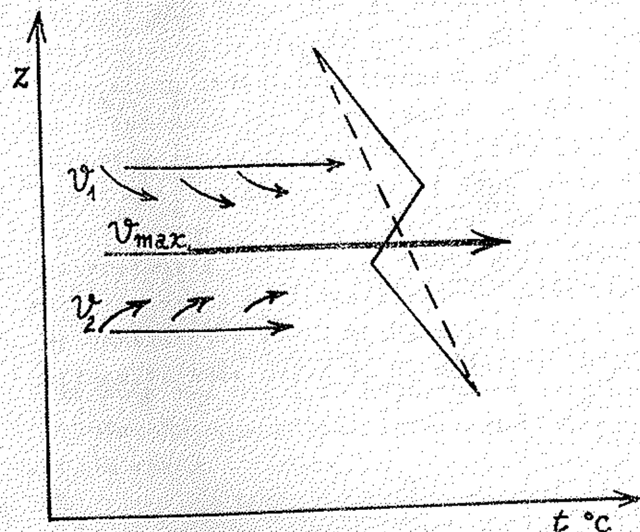
U ovom sloju je vrlo jaka turbulentnost, uglavnom zbog trenja. U stabilnoj stratifikaciji, kod slojeva atmosfere sa nezasićenom vodenom parom, turublentnost će povećati vertikalni gradijent temperature čak i do 1°C/100 m. Naime, usled turbulentnosti delić vazduha koji se penje nagore adijabatski se hladi i smanjuje temperaturu gornjeg sloja koji je iznad njega, a isto tako, pri spuštanju delić vazduha se zagreva i povećava temperaturu sloja koji je ispod njega. Zbog ovoga je, u sloju atmosfere sa pojačanom turublencijom, kriva stratifikacije približno jednaka suvoj adijabati. Na sl.1.39. linija AB je kriva stratifikacije pre pojave turublentnosti, a linija EF je kriva stratifikacije kada je u prizemnom sloju vrlo velika turbulencija. Iznad ovog sloja je sloj u kome se turublentnost naglo smanjuje, a krivu stratifikacije prikazuje linija FD, koja ukazuje na pojavu inverzije iznad sloja sa intenzivnom turbulencijom. Debljina ovakve inverzije nije velika, retko prelazi deset metara.



Sl.1.39. Inverzija turbulentnosti (trenja)

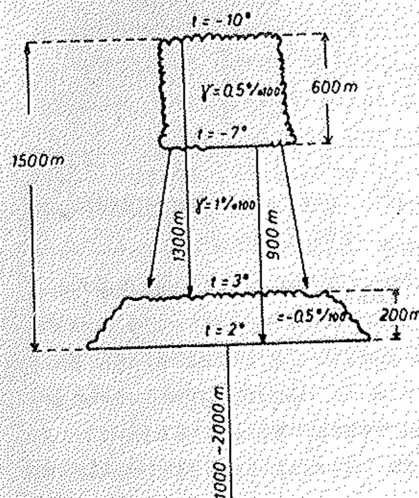
Dinamičke inverzije nastaju u slojevima atmosfere gde se javljaju velike brzine vetra. Vazdušna strujanja koja imaju velike brzine (V_{max}) uvlače vazdušne mase iz gornjih i donjih slojeva u kojima su brzine vetra znatno manje (V_1 i V_2). Zbog toga se na gornjoj granici sloja sa velikom brzinom vetra stvara nispono a na donjoj granici uspono strujanje vazduha. Pri spuštanju vazduh će se adijabatski zagrevati za 1°C/100 m, a pri dizanju hladiti za istu veličinu temperature. Na ovaj način, nastaje preraspodela temperature u sloju, pa se u sredini sloja sa vrlo velikom brzinom vetra javlja inverzija. Na sl.1.40. prikazana je dinamička inverzija.

Inverzije spuštanja nastaju u područjima iznad kojih je visoki vazdušni pritisak (anticiklon). Pod uticajem



Sl.1.40. Dinamička inverzija

silaznih vazdušnih strujanja svaki delić vazduha se sabija i širi u horizontalnom pravcu. Za svakih 100 m spuštanja temperatura delića postaje približno za 1°C. Na sl.1.41. prikazano je stvaranje inverzije spuštanja. Na visini je sloj vazduha debljí-600 m. Na gornjoj granici ovog sloja je temperatura -10°C, a na donjoj -7°C. Vertikalni gradijent temperature u ovom sloju je γ=0.5°/100m.



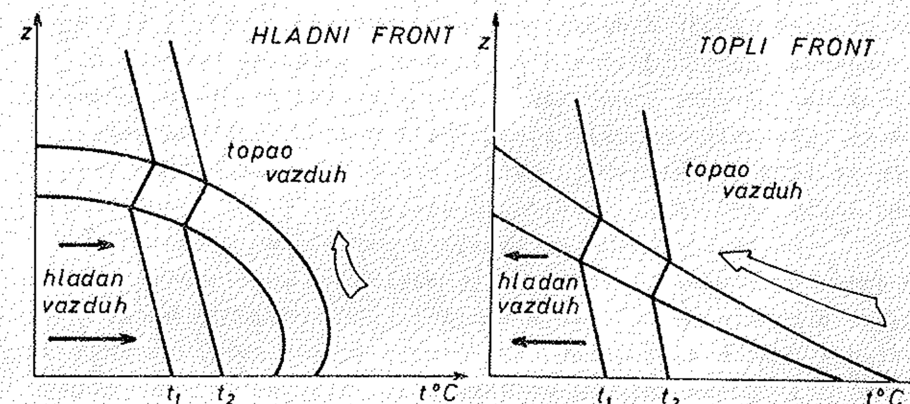
Sl.1.41. Anticiklonalne ili inverzije spuštanja

Pri spuštanju ovaj sloj se sabija i rasplinjuje, a debljina smanjuje. Donja granica se spustila za 900 m, a gornja za 1300 m,pa debljina sloja iznosi 200 m. Svi delići vazduha na gornjoj granici ovog sloja sada imaju temperaturu 3°, a na donjoj granici 2°, pa je vertikalni gradijent γ=-0.5°/100, što znači da je u ovom sloju nastalna inverzija.

Inverzije spuštanja ili anticiklonske inverzije zahvataju velike oblasti i traju više dana.

Frontalne inverzije nastaju u frontalnoj zoni, a frontalna zona je prelazni sloj izmedju hladnog i

toplog vazduha. Ovde se opažaju nagle promene vertikalnog gradijenta temperature koji ukazuje na postojanje izotermije ili inverzije. Visina baze ovakve inverzije zavisi od udaljenja od fronta. Što je veće rastojanje baze inverzije od fronta, inverzija je na većoj visini. Na sl.1.42. je ovakva inverzija na toplom i hladnom frontu. Hladna vazdušna masa uvek leži ispod tople vazdušne mase. Prelazni sloj izvesne debljine leži pod odredjenim nagibom koji se zove frontalna površina.



Sl.1.42. Frontalne inverzije

Zbog prelaza iz jedne u drugu vazdušnu masu, koje se medjusobno razlikuju po svojim fizičkim osobinama, dolazi do nagle promene, ne samo temperature vazduha, već i ostalih meteroroloških elemenata.

Sve vrste inverzija imaju vrlo veliki uticaj na razvoj mnogih atmosferskih procesa i pojava. Inverzije sprečavaju razvoj konvektivnih strujanja, pa se inverzioni slojevi nazivaju i zadržavajući slojevi. U vezi sa razvojem inverzija je i nastanak i razvoj nekih vrsta oblaka i magli. Kao što je već napomenuto, inverzije imaju veoma veliki uticaj na mnoge tehničke procese i, uopšte na mnoge privredne delatnosti.

U lokalitetima velikih izvora zagadjenosti vazduha, kao što su objekti hemijske industrije i u rudarsko-energetskim kombinatima, basenima, naročito kada se jave visinske ili pridignute inverzije, stvaraju se pogodni uslovi za velike koncentracije zagadjenosti vazduha u prizemnom sloju atmosfere,koje mogu biti vrlo opasne za životnu sredinu. Pri jakim inverzijama povećava se intenzitet magli i smanjuje vidljivost, pa inverzije

indirektno utiču na bezbednost svih vrsta saobraćaja, a takodje i na čestinu javljanja i dimenzije ledenih naslaga nataloženih na gradjevinske objekte i konstrukcije.

1.2.6. Vazdušne mase i atmosferski frontovi

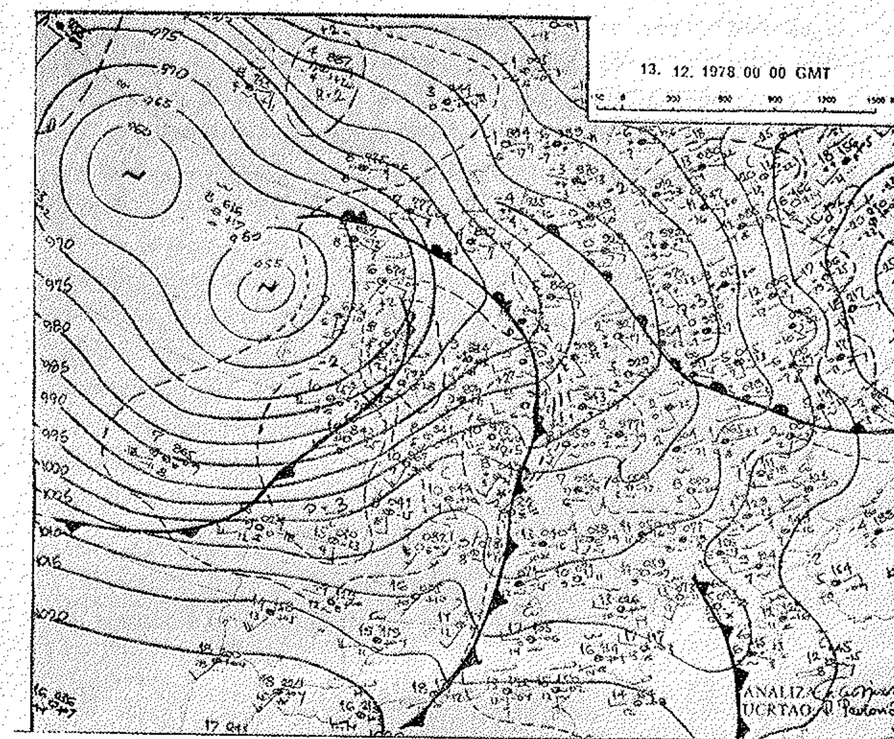
Podaci o vremenskom stanju, a naročito izveštaji o prognozi vremena, koriste se pri izgradnji i eksploataciji velikih gradjevinskih objekata i konstrukcija. Izveštaje o prognozi vremena izdaju Hidrometeorološki zavodi. Izveštaj ili bilten Zavoda sadrži, osim kratko izložene prognoze vremena za naredni dan, brojne sinoptičke karte u kojima su unete jednovremeno više meteoroloških elemenata i pojava, njihove varijacije za izvestan protekli period, podaci o zagadjenosti vazduha, zatim, aerološke, radarske, hidrološke i dr. parametre.

Da bi se vremensko stanje u odredjenom trenutku moglo jasno pregledati i da bi se pomoću njega mogli izvući zaključci o promenama koje će nastupiti, na kartama se unose brojevima i raznim simbolima jednovremeni podaci meteoroloških elemenata i pojava sa svih meteoroloških stanica koje se nalaze na karti.

Na ovaj se način dobija pregled gde se nalaze anticikloni, a gde depresije, odnosno cikloni, vazdušne mase i frontovi, i uopšte sve što je neophodno za analizu sinoptičke karte. Na osnovu uporedjenja sinoptičkih karata odredjuje se pravac i brzina kretanja ciklona, anticiklona; pomeranje vazdušnih frontova i pomeranje oblačnih i kišnih zona, ili zona sa vedrim vremenom itd. Na osnovu ovih pomeranja predvidja se da li će izvesna oblast za koju se daje prognoza doći pod uticaj depresije ili anticiklona, da li će iznad nje preći vazdušni frontovi i kakvo će vreme usloviti njihov prelazak.

Analizom sinoptičkih karata je ustanovljeno da vremenske pojave ne zavise toliko od raspodele vazdušnog pritiska iznad zemljine površine, koliko od raspodele različitih vazdušnih masa i njihovog uzajamnog dejstva. Zbog toga bi bilo neophodno nešto reći o vazdušnim masama i vazdušnim frontovima koji nastaju zbog njihovog uzajamnog dejstva.

Na sl.1.43. prikazana je prizemna sinoptička karta.



Sl.1.43. Sinoptička karta

Svaka vazdušna masa ima svoje geografsko poreklo, fizičke i dinamičke osobine. Uglavnom se koriste dva faktora za klasifikaciju vazdušnih masa: geografski i termodinamički.

Na sinoptičkim kartama geografsko poreklo ili izvorišna oblast vazdušne mase obeležena je velikim i malim slovima kojim počinje naziv geografskog područja i oblasti u kojima se formirala vazdušna masa. Četiri su osnovna geografska područja: artičko (A), polarno (P), tropsko (T) i ekvatorijalno (E).

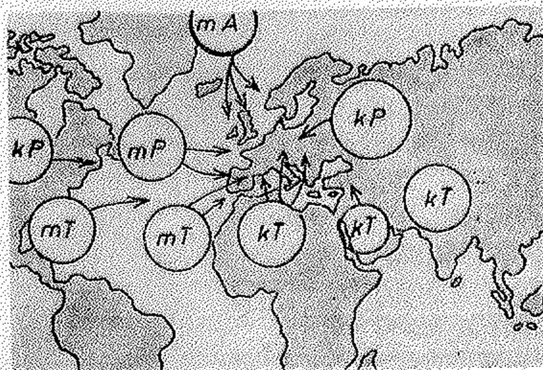
Artička vazdušna masa poreklom je iz polarnih krajeva. Medjutim, polarna vazdušna masa poreklom je sa visokih geografskih širina, ali ne iz samih polarnih krajeva. Tropski odnosno suptropski vazduh poreklom je iz subtropskih predela, dok je ekvatorijalni poreklom iz oblasti, grubo uzveši, izmedju dve desete geografske širine, dakle, iz oblasti ekvatora.

Svaka od ove četiri vrste vazdušnih masa deli se

dalje na po dve podvrste, i to: maritimne (m) i kontinentalne (k), prema tome da li su poreklom sa morskih ili kopnenih površina ili su se pri svom sporom kretanju duže vremena zadržavale iznad morskih ili kopnenih površina. Malim slovima se objašnjava priroda površine iznad koje je formirana vazdušna masa (mT-tropska maritimna vazdušna masa, kP-plarna kontinentalna vazdušna masa itd.).

Termodinamička klasifikacija vazdušne mase zasnovana je na toplotnim osobinama vazdušne mase. Tako, toplom vazdušnom masom nazivamo onu koja ima višu temperaturu nego što je ima zemljina površina ispod nje. Hladna vazdušna masa, prema tome, je hladnija od podloge iznad koje je ona formirana.

U naše krajeve uglavnom prodiru dve vazdušne mase: polarna i tropska, kako maritimna tako i kontinentalna (sl. 1.44.).



Sl.1.44. Izvorišne oblasti vazdušnih masa za Evropu

Klasifikacija ovih vazdušnih masa i njihove fizičke osobine mogu se ovako predstaviti (prema M.Milosavljeviću, 1956):

1.-Maritimni plarni vazduh (mP) ima izvorišnu oblast na visokim geografskim širinama Atlantika leti ili u Kanadi zimi, gde u ovo doba godine vladaju stacionarni anticikloni. Ove vazdušne mase se zimi stvarno formiraju na kontinentalnim oblastima ali kako se pri svome kretanju ka Evropi duže zadržavaju iznad Atlanskog Okeana, to dobijaju maritimna svojstva. U Evropu ovaj vazduh dolazi izmedju Islanda i Velike Britanije, i preko Srednje Evrope struji u vidu zapadnih i severozapadnih vetrova. Pošto ovaj vazduh prelazi preko tople Golfske struje on postaje veoma vlažan i zagreva se u nižim slojevima, što u toku zime izaziva izrazitu labilnost sa gomilastim oblacima. Usled toga se u Zapadnoj Evropi i osobito u severozapadnom delu gde

preovladjuje (mP) često zimi javljaju pljuskovite padavine. Pri upadu (mP) u Srednju Evropu, zimi se primećuje povišenje temperature u prizemlju, tj. ublažívanje oštrog mraza, ali na visini temperatura opada. Sveži maritimni polarni vazduh donosi sneg na sredjeevropskim planinama, čija je nadmorska visina oko 500 metara. U toplijem godišnjem dobu ovaj vazduh, pri svome dolasku u Srednju Evropu, izaziva često hladno, nestabilno i kišovito vreme, gde ponekad dolaze do izražaja i lokalni vremenski uticaji. U prelaznim godišnjim dobima, a naročito u proleće, ovaj vazduh prouzrokuje promenljivo vreme tj. dosta brzu smenu izmedju pljuskova kiše i sijanja Sunca.

Vidljivost u ovoj vazdušnoj masi je uopšte dobra i iznosi 20 do 50 km. U zapadnoj Evropi (mP) uslovljava preko cele godine maritmnu klimu.

Ponekad (mP) dolazi u Evropu kao stabilna vazdušna masa. To se dogadja kada se ona duže zadržava izrad Atlanskog Okeana, naročito pri kretanju daleko na jug, i onda tek prešla u Evropu. Prelaskom u Evropu, ova vazdušna masa skreće prema severu usled čega se u njoj povećava stabilnost. Takav maritimni polarni vazduh naziva se povratnim (mP) i njegove fizičke osobine se približavaju maritimno trošskom vazduhu (mT).

2. Kontinentalni polarni vazduh (kP) ima svoju izvorišnu oblast u severnim krajevima Evrope. Skandinavije, Finske i Evropskog dela SSSR-a. Ovaj se vazduh najčešće formira u kontinentalnim anticiklonima. To je slučaj zimi kada se naticiklon nalazi iznad Sibira i kada njegovi ogranci zahvataju celokupan evropski deo SSSR-a takodje i Srednju Evropu. Isto tako se i nad Finoskandinavijom zimi često nalazi anticiklon u kome se ovaj vazduh formira. Osobine (kP) se veoma menjaju od zime ka letu.U toku zime se ovaj vazduh ne razlikuje mnogo od kontinentalnog artičkog vazduha (kA), a u toku leta se ne razlikuje od kontinentalnog tropskog vazduha (kT) naročito u svojim prizemnim slojevima.

Zimi se (kP) odlikuje veoma niskim temperaturama u prizemnim slojevima gde se obrazuju jake prizemne inverzije. Apsolutna vlaga ovoga vazduha je mala a relativna vlažnost je velika. U dubini kontinenata mogu se obrazovati magle i slabo padanje snega. Preko dana se obrazuju kumulusi i slojeviti oblaci srednjih visina. Ipak postoji opšta naklonost ka brzom

razvedravanju, koja se naročito jako ispoljava noću. Vidljivost je u ovoj vazdušnoj masi umerena i to od 10 do 20 km jer je vazduh malo zamućen zbog sumgalice na inverzionim slojevima i zbog povremenih primesa prašine ,koja se uvek nalazi u kontinentalnom vazduhu.

3. Maritimni tropksi vazduh (mT) ima izvorišnu oblast u subtropskom delu Atlanskog Okeana kod Azorskih Ostrva gde stalno vlada visok vazdušni pritisak. Ovaj se vazduh često puta formira i u oblasti Sredozemnog Mora. Maritmini tropski vazduh od Azora kreće se preko Atlanskog Okeana i dolazi u Zapadnu Evropu sa jugozapada ili zapada. Odlikuje se visokom temperaturom, a u isto vreme i svojom stabilnošću. U mestu formiranja (mT) je malo stabilan, ali pri kretanju ka severu njegova stabilnost raste. U njemu se zimi javljaju magle, slojasti oblaci i sipeća kiša. U slučaju kada se ovaj vazduh formira iznad Sredozemnog Mora pa se proširi u Srednju Evropu, slojeviti oblaci i magle tada iščezavaju pod dejstvom fenskog strujanja. Vidljivost je u ovom vazduhu umanjena.

4. Kontinentalni tropski vazduh (kT) ima uglavnom izvorišnu oblast u subtropskim pustinjama Severne Afrike i Arabije a u letnje doba i u južnom delu umerenog pojasa, tj. u Maloj Aziji i nad južnim delom Balkanskog poluostrva. Ove su vazdušne mase suve i tople i sadrže mnogo delića prašine iz Severno Afričkih pustinja. Kontinentalni tropski vazduh struji u naše krajeve sa juga ili jugostioka. Ovo strujanje ima često padajući karakter usled čega preovladjuje vedro vreme.

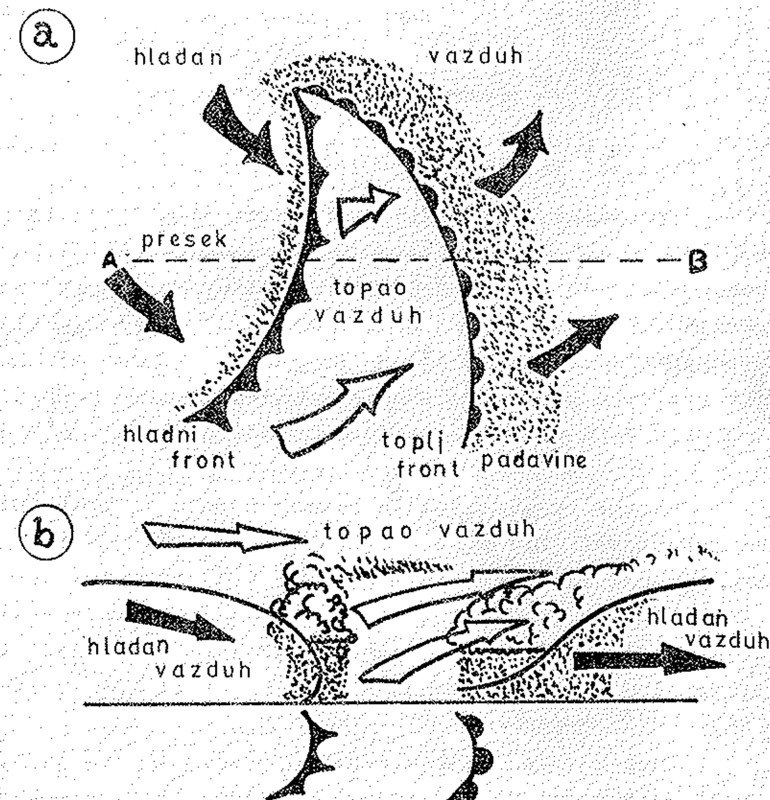
Vremenske promene iznad neke oblasti najstaju tamo gde se dve vazdušne mase susreću, dodiruju, a zatim, smenjuju jedna drugu. Promene vremena mogu nastati i u jednoj vazdušnoj masi, ali se one razlikuju od onih koje se neposredno dodiruju.

Razdvojena površina ili front je uzana granična površina koja razdvaja dve vazdušne mase različitih osobina. Razdvojna ili granična površina zaklapa kos ugao sa zemljinom površinom. Tamo gde ona dodoruje zemlju je linija fronta na zemljinoj površini. To je ustvari linija diskontinuiteta na zemljinoj površini koja odvaja dve vazdušne mase koje se kreću.

Granicu izmedju artičkog i polarnog vazduha nazivamo artički front: izmedju polarnog i tropskog, polarni front i izmedju tropskog i ekvatorskog, tropski front. To su glavni fron-

tovi. Medjutim, prema termičkim osobinama vazdušnih masa razlikujemo sledeće vrste vazdušnih frontova: topli front, hladni frontovi prvog i drugog reda, i tzv. okluzovani frontovi (toplo-okluzovani i hladno-okluzovani).

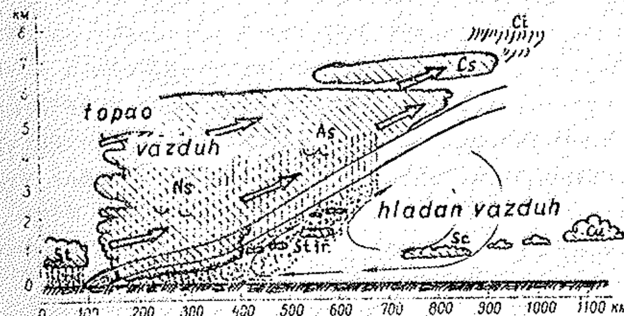
Frontovi na sinoptičkoj karti prikazani su u ravni, pa je nemoguće uočiti njihovu prostornu raspodelu u vertikalnom pravcu. Ova diskontinuitetna površina može biti konveksno ili konkavno nagnuta prema zemlji u zavisnosti od vrste fronta. Na sl.1.45. prikazani su osnovni principi forntalnog sistema



Sl.1.45. Frontalni sistem; a) horizontalni presek; b) vertikalni presek

koji započinje svoj razvoj. Topli front nastaje pri "sudaru" tople vazdušne mase sa hladnom vazdušnom masom koja je u miru ili se sporije kreće ka toplom vazduhu ili u istom pravcu sa njim (sl.1.46.). Topao vazduh se uzdiže duž granične površine sa hladnim vazduhom stvarajući topli front. Presek ove granične

površine sa zemljinom površinom naziva se topli front na zemljinoj površini i on se prikazuje na sinoptičkoj karti u vidu linije sa zaobljenim zupcima.



Sl.1.46. Vertikalni presek toplog fronta

Topao vazduh se uzdiže uz hladni do velike visine, ponekad i do 10 km. Pri uzdizanju se adijabatski hladi, sve do kondnezacije vodene pare i izlučivanja padavina frontalnog tipa. Predznaci dolaska toplog fronta su oblaci cirusi.Javljaju se ispred zone frontalne padavine na rastojanju oko 600 km. Padavine prestaju posle prelaza toplog fronta. Pri približavanju toplog fronta vazdušni pritisak opada a vetar menja svoj pravac.

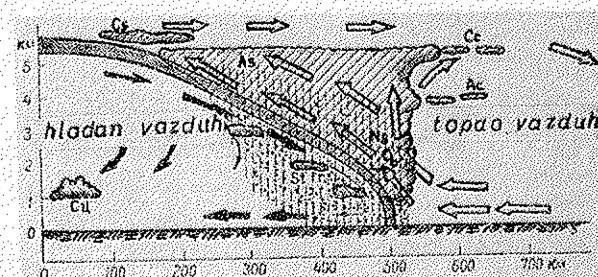
Osnovna karakteristika toplog fronta je pravilna raspodela oblačnosti. Cirusi se javljaju na rastojanju 900-1000 km ispred fronta, cirostratusi 900 km i altostratusi 700km. Kiša, sneg ili sipeća kiša, koji se javljaju na rastojanju 600 km ispred fronta , u vezi su sa nimbostratusima koji su iznad frontalne površine. Stratusi su unutar hladnog vazduha (sl.1.46).

Druga karakeristična osobina toplog fronta se opaža posle prolaza fronta. Vazduh može biti veoma čist, vreme bez oblaka, vedro, a vidljivost dobra ili se mogu javiti sipeća kiša i magla. Topli front se obično kreće u pravcu izobara u toploj vazdušnoj masi, brzinom oko 40 km na čas.

Hladni front je linija diskontinuiteta na zemljinoj površini koja razdvaja hladan i topao vazduh. Hladan vazduh, je veće specifične težine, prodire u vidu klina ispod toplog* vazduha podižući ga uvis. Osnovne osobine hladnog fronta su

sledeće: temperatura i vlažnost opadaju, a pritisak raste odmah po prolazu fronta. Na sl.1.47. i 1.48. prikazani su procesi hladnog fronta prvog i drugog reda. Kako hladni front ima dosta strmiji nagib od toplog fronta uzlazno strujanje toplog vazduha mnogo je složenije, pa su i procesi burniji nego kod toplog fronta. Raspodela vrste oblaka i intenzitet padavina zavise prvenstveno od brzine vertikalnog uzlaznog kretanja toplog vazduha, a to i dovodi do podele hladnog fronta na vrste (prvi i drugi red).

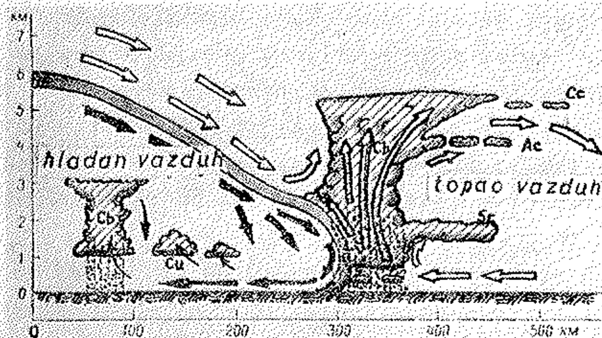
Hladni front prvog reda sporo se kreće ili je skoro stacionaran. Pri napredovanju fronta hladan vazduh postepeno potiskuje topliji koji se diže uz hladni vazduh. Usle trenja hladnog vazduha o zemljinu površinu, prednji kraj hladnog fronta dobija dosta veliki nagib pri zemljinoj površini (1:100) pa dolazi do intenzivnog uzdizanja toplog vazduha uvis i stvaranja kumulonimbusa i nimbostratusa sa pljuskovitim padavinama. Ispred fronta su pljuskovite padavine, a iza fronta umerene dugotrajne padavine. Sa grmljavinskom aktivnošću i pljuskovitim padavinama javlja se i olujni vetar. Intenzivnost nepogode uglavanom zavisi od početne nestabilnosti tople vazdušne mase. U hladnoj vazdušnoj masi obično nema oblačnosti, osim ako je ona nestabilna pa će se javiti u padavinskoj zoni (sl.1.47.)



Sl.1.47. Hladni front prvog reda

Sa hladnim frontom drugog reda uglavnom se javljaju nispona (descedentna) strujanja toplog vazduha duž frontalne površine, ali na visini, dok je blizu zemljine površine uzlazno strujanje toplog vazduha. Nagib fronta je 1:40 do 1:80 i obično se kreće znatno brže od hladnog fronta prvog reda. Hladni vazduh pri svom brzom kretanju naglo diže topli vazduh ispred samog fronta stvarajući burno kumulonimbuse sa jakim pljuskovima

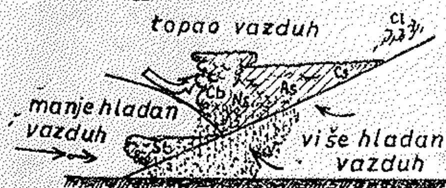
i grmljavinom (sl.1.48). Zona padavina zahvatiće samo uski pojas ispred fronta dok će odmah iza njega biti potpuno vedro.



Sl.1.48. Hladni front drugog reda

Razvedravanje iza fronta poruzrokovano je silaznim kretanjem hladnog vazduha u klinu hladnog fronta, a takodje i tople vazdužne mase na većim visinama iznad samog fronta. Približavanje hladnog fronta ove vrste može se opaziti pojavom sočivastih altokumulusa, koji se nalaze na oko 200 km ispred fronta.

Osim pomenutih vazdušnih frontova javljaju se i kombinacije toplog i hladnog fronta koje se nazivaju okluzovani frontovi. Nastaju spajanjem hladne vazdušne mase, kada je hladni front koji se kreće brže sustigao topli front. Tada se sav topli vazduh uzdigne u vis, kao što je to prikazano na sl.1.49 i 1.50. Oblačne mase toplog i hladnog fronta spajaju se u jednu.



Sl.1.49. Okluzija po tipu hladnog fronta

Već prema tome da li do hladnih vazdušnih masa prodire ona koja je hladnija ili ona što je nešto manje hladnija, odnosno toplija, front okluzije može biti tipa hladnog, odnosno toplog fronta. Tako, ako je klin hladnog vazduha stigao prednji klin nešto manje hladnog vazduha, stvoriće se hladna okluzija. Na sl.1.49. prikazana je okluzija po tipu hladnog fronta. Pozadinski hladni klin dolazi ispod manje hladnog (toplijeg) vazduha uzdižući ga uvis. Linija toplog fronta, tada

prelazi u slobodnu atmosferu (nije više u dodiru sa zemljom) i premešta se na visini duž površine hladnog fronta. U ovom slučaju imamo donji hladni front i gornji topli front.

Prolazak hladne okluzije iznad nekog područja stvara zahladjenje, a kišna zona iza fronta je znatno proširenija.

Kod tople okluzije zadnji klin hladnog vazduha sustiže klin nešto hladnijeg vazduha. Zbog toga, linija hladnog fronta prinudjena je da se diže uz površinu hladnijeg vazduha. Dakle, premešta se sve više uvis, u slobodnu atmosferu, zajedno sa površinom toplog fronta. U ovom slučaju imaćemo gornji hladni front i donji topli front. Na sl.1.50. prikazan je front okluzije po tipu toplog fronta. Prolazak ovakve okluzije iznad nekog područja stvara otopljenje, zbog čega je i opravdan naziv za ovu vrstu okluzije-topli front okluzije ili topla okluzija.



Sl.1.50. Front okluzije po tipu toplog fronta

Vreme tipično za okluziju je kombinacija vremenskih stanja koja preovladjuju kod frontova. Kod hladnog fronta okluzije preovladjuje olujno i grmljavinsko stanje, a kod toplog fronta okluzije javljaju se široke zone sa padavinama.

Da bi se dobile sigurnije i pouzdanije prognoze vremena mnoge zmelje, a medju ovima i naša, otvaraju Evropski centar za prognozu vremena, u Breknelu nedaleko od Londona. U ovom Centru biće postavljen najsavremeniji računar koji u kratkom vremenu obavlja više stotina milijardi matematičkih operacija. Naime, da bi se dobila kratkoročna prognoza vremena, za narednih deset dana, potrebno je obaviti 540 milijardi matematičkih operacija za svega tri časa. Isto tako, složeno je dobijanje prognoze vremena za narednih 24 časa. U ovom slučaju računar treba da obavi 120 milijardi operacija. Za rad u Centru za prognozu vremena predvidja se učestvovanje preko 150 naučnika. Procenjuje se da će cena obavljenih poslova u toku godine prelaziti sumu od 14 miliona dolara(1979).

Na osnovu podataka iz ovog Centra sve Nacionalne me-

teorološke službe, pa i naši hidrometeorološki zavodi, sastavljaće dnevne i kratkoročne prognoze vremena.

Na kraju ovog dela poglavlja treba ukazati da se detaljniji opisi o analizi i prognozi vremena mogu naći u posebnoj literaturi na našem jeziku: M.Čadež: Vreme u Jugoslaviji (1964); P.Vujević: Podneblje FNRJ, (1953); B.Dobrilović: Visinsko strujanje iznad Jugoslavije i prizemni karakteristični vetrovi (1960); M.Milosavljević: Fizičke osobine vetrova u Beogradu, (1950); M.Čadež: Pregled prodora hladnog vazduha u FNRJ u 1951. (1953); Dj.Radinović i D.Lalić: Ciklonska aktivnost u Zapadnom Sredozemlju, (1959). Dj.Radinović: Analiza vremena, (1968) i mnogi dr.

L I T E R A T U R A:

Averkiev, M.S.: METEOROLOGIJA II, IMU, Moskva, 1960

Baranov, A.M., Mazurin, N.I., Solonin S.V. Jankovskij I. A.: AVIACIONNAJA METEOROLOGIJA,Gidrometizdat, Leningrad, 1966.

Barry,R.G, i Chorley R.G.: ATMOSPHERE, WEATHER AND CLIMAT

Battan, L.J.: WEATHER, Prentice-Hall, N.Jersey 1974.

Bernacca, E.: THE TEMPO FARA, Oskar.c.1971.

Böer, W.: TECHISCHE METEOROLOGIE, B.G.T.V.Leipcig,1964.

Byers, A.R.: GENERAL METEOROLOGY, Mc Graw-hill,1974.

Conrad, V., Plak,L.W.: METHODS IN CLIMATOLGY, Harvard Univ.Press, Cambridge, Massadhusetts,1962.

Čadež, M.: METEOROLOGIJA, BIGZ 1973.

Čadež, M.: FIZIKA ATMOSFERE, SU HMS, Beograd, 1952.

Delijanić, I.: OSNOVI METEOROLOGIJE, HM Tehnička škola, Beograd, 1976.

Djukanović,D.: METEOROLOŠKO-KLIMATOLOŠKA AKTIVNOST U PROJEKTOVANJU I EKSPLOATACIJI TERMOELEKTRANA, X Stručno savetovanje elektroenergetičara, Jugoslavije, Dubrovnik,1970.

Fleagle, G.R. and Businger, A.J.: AN INTERODUCTION TO ATMOSPERIC PHYSICS, Ac. Press, N.Y., 1964.

Goody, M.R.: ATMOSPERES, Prentice-Hall, N.Jeresy, 1972.

Groffoths, John, F.:APPLIED CLIMATOLOGY, Oxford univ.press 1976. London

Guraljnik, I.I., Dubinskih G.P., Mamukonova C.B.:METEOROLOGIJA, Gidromet, Leningrad, 1972.

Hrgijan, A.H.: FIZIKA ATMOSFERE, GITL Moskva,1969.

Ivanović, D.: METEOROLOŠKA STATISTIKA, Hidrometeorološka tehnička škola, Beograd, 1976.

Koch, H.: INDUSTRIE METEOROLOGIE, K.Marsk-Un.Leipzig, 1966.

Kunic, A.V, i Matveev, M.V.: SINOPTIČESKAJA METEOROLOGIJA, Gidrometizdat, Leningrad, 1964.

Maljčenko, E.V.: OBŠČAJA METEOROLOGIJA, Gidrometizdat, Leningrad, 1947.

Matveev,A.T.: OSNOVI OBŠEJ METEOROLOGIJI,FIZIKA ATMOSFERI, Gidrometizdat, Leningrad, 1965.

Maunder, W.J.: THE VALUE OF THE WAETHER, Bilteer,London 1970.

Milosavljević, M.: METEOROLOGIJA, Naučna knjiga,1972.

Narovljanskij, G.J.: AVIACIONNAJA KLIMATOLOGIJA, Gidrometizdat, 1968.

Panovskij, G.A., Brajer, G.V,: STATISTIČESKIE METODI V METEOROLOGII, Gidrometizdat, 1967.

Pfeifer, F.: WETTERZEICHEN UBERALL, Urania, Leipzig,1965.

Pinus, N.Z. i Šmeter, S.M.: AEROLOGIJA, Gidrometizdat, 1966.

Riehl, H.: INTRODUCTION TO THE ATMOSPHERE, McGrow-Hill 1972. N.Y.

Ščerban, M.I.: MIKROKLIMATOLOGIJA, IKU, Kiev, 1968.

Tverskoi. P.H.: KURS METEOROLOGII Gidrometizdat,Leningrad, 1962.

Vujević, P. : KLIMATOLOŠKA STATISTIKA, Naučna knjiga, Beograd, 1956.

Vujević, P.: METEOROLOGIJA, Prosveta, 1948.

Zaicev, V.A., Ledohovič, A.A., Nikandrova, G.T.: VLAŽNOST VAZDUHA I IZMERENIE, Gidrometizdat, 1974.